2026 ГОД ЕДИНСТВА НАРОДОВ РОССИИ

2022 2031 ДЕСЯТИЛЕТИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

2026 ГОД ВОИНСКОЙ И ТРУДОВОЙ ДОБЛЕСТИ
ХӘРБИ БАТЫРЛЫК ҺӘМ ХЕЗМӘТ ФИДАКАРЬЛЕГЕ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2026

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА

I ТОМ



минцифры_

35 лет

ГБУ

АСЦР

Под эгидой Правительства Российской Федерации
при поддержке Кабинета Министров Республики Татарстан

Under the auspices of the Government of the Russian Federation
With the support of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan

Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2026

Proceedings of the International Forum KAZAN DIGITAL WEEK – 2026

I том
Volume I

Казань 2026
Kazan 2026

УДК 004.896(06):656+629+336+338+7.06+61+631
ББК 32.966
М43

Печатается по решению
Ученого совета ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности
Академии наук Республики Татарстан»

М43 Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2026: сборник материалов / Сост.: Р.Ш. Ахмадиева, Р.Н. Минниханов; Под общей ред. действительного члена Академии наук Республики Татарстан, д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова. – Казань: ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан», 2026. – Т. 1. – 2478 с.

В сборник включены программные директивы Правительства Российской Федерации, главы Республики Татарстан, оценки ведущими разработчиками и экспертами достижений и перспектив масштабирования и вывода на международные рынки отечественных инновационных наукоемких технологий, отвечающих целям национальных проектов и задач НТР Российской Федерации в современных геополитических и экономических реалиях.

Научные статьи, включенные в сборник, прошли экспертизу ведущих российских специалистов по тематическим направлениям рабочей программы форума, включены в РИНЦ.

Сборник представляет практический интерес для руководителей структур исполнительной власти и государственного управления, специалистов перспективного развития и ИТР предприятий и университетов, организаций социально-гуманитарной сферы.

M43 Proceedings of the International Forum KAZAN DIGITAL WEEK – 2026 / Comp. by R.Sh. Akhmadieva, R.N. Minnikhanov; Under the general editorship of R.N. Minnikhanov, Full Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Doctor of Technical Sciences, Professor. – Kazan: Separate Structural Subdivision «Scientific Center for Life Safety of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan», 2026. – V. 1. – 2478 p.

This collection of works from KDW 2026 includes the program directives of the Government of the Russian Federation and the Head of the Republic of Tatarstan, as well as assessments by leading developers and experts regarding the achievements and prospects for scaling up and bringing domestic innovative science-intensive technologies to international markets, meeting the goals of national projects and the tasks of scientific and technological development of the Russian Federation in modern geopolitical and economic realities.

The scientific papers included in this collection have been peer-reviewed by leading Russian experts in the subject areas corresponding to the forum's program and are indexed in the Russian Science Citation Index.

The collection is of practical interest to heads of executive and public administration bodies, specialists in advanced development, engineering and technical personnel of enterprises and universities, and organizations in the social and humanitarian sphere.

© ГБУ «Безопасность дорожного движения», 2026
© State Budget Organization «Road traffic safety», 2026
© ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан», 2026
© Separate Structural Subdivision «Scientific Center for Life Safety of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan», 2026

16+
ISBN 978-5-6056947-6-2



Уважаемые коллеги, добрый день!

Я рад приветствовать участников, гостей Международного форума Kazan Digital Week – 2026. За время своего проведения он стал эффективной площадкой, где встречаются бизнес, эксперты, ученые и представители дружественных государств, чтобы вместе обсуждать самые актуальные вопросы развития цифровых технологий, обмениваться опытом, лучшими практиками, идеями, в том числе по ключевым направлениям, таким как искусственный интеллект, противодействие кибермошенничеству, робототехника, сети 5G, спутниковый Интернет и многие другие темы. Президент отмечал, что от скорости внедрения инноваций в современном мире зависят наш суверенитет, экономический рост, решение самых важных социальных задач.

Правительство уделяет особое внимание формированию комфортных условий для компаний, занятых в ИТ-сфере. Для этого с прошлого года действует профильный национальный проект. Он стимулирует создание отечественных передовых разработок, цифровых платформ, продуктов, обеспечивает их широкое практическое применение во всех областях, прежде всего в промышленности, транспорте, здравоохранении, сельском хозяйстве и государственном управлении.

ИТ-отрасли сегодня активно развиваются. За последние шесть лет их доля в валовом внутреннем продукте страны выросла более чем вдвое. Расширяется реестр отечественного софта. Число зарегистрированных российских решений теперь исчисляется десятками тысяч. Наши предприятия, госкорпорации все чаще используют их в ключевых секторах экономики. Это крайне важно, чтобы снизить зависимость от зарубежных поставщиков, оптимизировать производственные процессы. Это тоже дает хорошие результаты. По итогам прошлого года выручка аккредитованных ИТ-компаний приблизилась к 8 трлн рублей, что практически в полтора раза больше предыдущего периода и продолжает увеличиваться. За первые шесть месяцев текущего года этот показатель уже составил 6 трлн рублей. Все это стало возможным благодаря работе высококвалифицированных специалистов, поэтому подготовке кадров уделяется особое внимание. В секторе информационно-телекоммуникационных технологий сейчас занято свыше 1 700 тыс. человек.

Сегодня внедрение цифровых решений – это одно ключевое направление, которое играет значимую роль и в обеспечении индустриального национального суверенитета, устойчивом развитии российских предприятий и в целом в укреплении позиций нашего государства на мировом рынке. Для активного освоения нового технологического уклада, достижения лидерства необходимы профессионалы с высоким уровнем компетенций. Для их подготовки реализуется программа сотрудничества бизнеса с учебными заведениями, создаются центры цифрового образования, где талантливая молодежь может получать профессиональные знания, навыки и приобретать реальный опыт. Важно и дальше повышать эффективность отрасли. Много еще предстоит сделать. В текущей ситуации с внешними ограничениями надо динамичнее расширять линейку отечественного софта, облачных сервисов, промышленных систем и одновременно наращивать темпы запуска конкурентоспособных технологий, чтобы информационные ресурсы и передовые разработки помогали улучшать качество жизни людей, решать экономические, социальные задачи как в регионах, так и по всей стране в целом.

Уверен, что здесь, на форуме, будут рассмотрены эти и другие предложения по развитию цифровой сферы, а идеи, которые будут высказаны, найдут свое практическое воплощение. Желаю всем участникам продуктивных дискуссий!

М.В. Мишустин
Председатель Правительства
Российской Федерации



Dear colleagues, good afternoon!

I am glad to welcome the participants and guests of the International Forum Kazan Digital Week 2026. Since its inception, it has become an effective platform where business, experts, scientists, and representatives of friendly countries meet to discuss the most pressing issues of digital technology development and to exchange experience, best practices, and ideas, including in key areas such as artificial intelligence, countering cyber fraud, robotics, 5G networks, satellite Internet, and many other topics. The President has noted that our sovereignty, economic growth, and our ability to address the most important social tasks depend on the speed of adopting innovations in the modern world.

The Government pays special attention to creating favorable conditions for companies operating in the IT sector. To this end, a dedicated national project has been in place since last year. It stimulates the creation of domestic cutting-edge solutions, digital platforms, and products and ensures their widespread practical application in all areas, primarily in industry, transport, healthcare, agriculture, and public administration.

The IT industry is actively developing today. Over the past six years, its share in the country's gross domestic product has more than doubled. The register of domestic software is expanding. The number of registered Russian solutions now runs into tens of thousands. Our enterprises and state corporations are increasingly using them in key sectors of the economy. This is extremely important for reducing dependence on foreign suppliers and optimizing production processes. This is also yielding good results. At the end of last year, the revenue of accredited IT companies approached RUB 8 trillion, which is almost one and a half times the figure for the previous period, and it continues to grow. In the first six months of this year, this figure already amounted to RUB 6 trillion. All this has become possible thanks to the work of highly qualified specialists, so special attention is paid to personnel training. The information and telecommunications technology sector currently employs over 1.7 million people.

Today, the adoption of digital solutions is one of the key areas that plays a significant role in ensuring national industrial sovereignty, the sustainable development of Russian enterprises, and, on the whole, in strengthening our state's position in the global market. To actively embrace a new technological paradigm and achieve leadership, highly competent professionals are needed. To train them, a program of cooperation between business and educational institutions is being implemented, and digital education centers are being established where talented young people can gain professional knowledge and skills and acquire real-world experience. It is important to continue improving the efficiency of the industry. Much remains to be done. In the current situation with external restrictions, we need to expand the range of domestic software, cloud services, and industrial systems more dynamically, while simultaneously accelerating the launch of competitive technologies, so that information resources and cutting-edge solutions help improve people's quality of life and address economic and social challenges both in the regions and across the country as a whole.

I am confident that here at the forum, these and other proposals for the development of the digital sphere will be considered, and the ideas expressed will be put into practice. I wish all participants productive discussions!

M.V. Mishustin
Prime Minister
Russian Federation



Уважаемые гости и участники форума!

Рад приветствовать вас на Международном форуме Kazan Digital Week – ключевом событии IT-индустрии в республике.

Создавая и развивая устойчивые системы доверенных цифровых технологий, мы можем обеспечивать новый уровень жизни граждан, более эффективно управлять инфраструктурой и ресурсами, открывать новые возможности для развития производства, науки, бизнеса.

В этих условиях на передний план выходят вопросы достижения технологического лидерства, киберустойчивости систем, устранения цифрового разрыва в обществе и пробелов в этико-правовом регулировании, что ежегодно отражается на повестке форума Kazan Digital Week.

Форумда каралган темалар IT-өлкәдә эшне камилләштерергә, күп кенә тармакларның үсеше өчен яңа юнәлешләр билгеләргә мөмкинлек бирер дип өметләнәм. Катнашучыларга уңышлы чыгыш ясарга, файдалы очрашулар, яңа идеяләр табарга телим.

Пусть представленные в рамках форума доклады, обмен мнениями и дискуссии послужат источниками новых перспективных идей и проектов.

Р.Н. Минниханов
Раис Республики Татарстан,
доктор экономических наук



Dear guests and participants of the forum!

I am pleased to welcome you to the international forum Kazan Digital Week – a key IT-industry event in our republic.

By creating and developing sustainable systems of trusted digital technologies, we can ensure a new standard of living for our citizens, manage infrastructure and resources more efficiently, and open up new opportunities for the development of production, science, and business.

In these conditions, the issues of achieving technological leadership, ensuring cyber resilience of systems, closing the digital divide in society and addressing gaps in ethical and legal regulation come to the fore, which is reflected annually on the agenda of the Kazan Digital Week forum.

I hope that the topics discussed at the forum will allow us to improve work in the IT-sphere, to outline new directions for the development of many industries. I wish all participants successful presentations, productive meetings and new ideas.

Let the reports presented at the forum, the exchange of opinions and discussions serve as a source of new promising ideas and projects.

R.N. Minnikhanov
Rais (Head) of the Republic of Tatarstan,
Doctor of Economics

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОСТИ

УДК 656.13

ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Бычкова К.А., магистрант;
E-mail: christosh3003@gmail.com;
Подкопаев А.В., аспирант;
E-mail: PAlinoleum@yandex.ru;
Шевцова А.Г., д.т.н., доцент, директор Института дополнительного образования и профессионального обучения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия;
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

FORMATION OF A UNIFIED ARCHITECTURE OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE TRANSPORT AND ROAD COMPLEX OF THE RUSSIAN FEDERATION

Bychkova C.A., Master's student;
E-mail: christosh3003@gmail.com;
Podkopaev A.V., postgraduate student;
E-mail: PAlinoleum@yandex.ru;
Shevtsova A.G., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Additional Education and Professional Training at Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia;
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Аннотация

В статье представлена проблема фрагментарности внедрения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в регионах и стране в условиях масштабной цифровой трансформации транспортно-дорожного комплекса (ТДК). На основе анализа отечественного и зарубежного опыта предложена концепция единой структуры ИТС. Представлен математический аппарат интеграции гетерогенных данных (метеорологических, следовых, транспортных потоков) для прогнозирования роста аварийно-опасных ситуаций на участках улично-дорожной сети.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, безопасность дорожного движения, цифровая трансформация, транспортно-дорожный комплекс

Abstract

This article addresses the fragmented implementation of intelligent transport systems (ITS) across regions and the country amidst the large-scale digital transformation of the road transport system (RTS). Based on an analysis of domestic and international experience, a concept for a unified ITS structure is proposed. A mathematical framework for integrating heterogeneous data (meteorological,

trace, and traffic flows) is presented to predict the growth of accident-prone situations on road network sections.

Keywords: intelligent transport systems, road safety, digital transformation, transport and road complex

Повышение безопасности дорожного движения (далее – БДД) и снижение аварийности на улично-дорожной сети остается одним из приоритетных направлений государственной политики РФ. Несмотря на положительную динамику последних лет, уровень дорожно-транспортных происшествий и сопутствующий экономический ущерб остаются критически высокими. Ежегодные потери от ДТП в России достигают 2,5% ВВП страны, а количество погибших и раненых, согласно статистическим данным, превышает 275 тыс. человек [1].

Российский опыт внедрения ИТС носит очаговый и фрагментарный характер [1, 2]. Если в таких странах, как Япония (система VICS), Сингапур (комплекс EMAS, GLIDE, ERP) или США (стратегии ramp metering), ИТС представляют собой единые межведомственные экосистемы, охватывающие тысячи узлов УДС, то в России мы наблюдаем автоматизацию [1]. Некоторые регионы (например, Белгородская область) успешно реализуют локальные проекты: от систем фото- и видеофиксации «ПАРКОН» до алгоритмов регулирования съездов. Однако отсутствие единой архитектуры интеллектуальной транспортной системы, стандартизированных протоколов информационного обмена и межведомственной координации является причиной того, что массивы данных, генерируемые комплексами фото- и видеофиксации, дорожными метеостанциями и навигационными сервисами, не интегрированы в единую систему принятия решений органами власти.

Цифровая трансформация ТДК РФ диктует необходимость формирования Единой архитектуры ИТС (ЕА-ИТС), способной объединять разрозненные выходные данные в режиме реального времени, преобразовывая их из сырой статистики в прогнозируемые модели управления.

Системный кризис управления БДД усиливается тем, что традиционные статистические методы анализа аварийности носят исторический характер. ДТП является не случайным событием, а закономерным результатом выхода одного или совокупности факторов системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда» (далее – ВАДС) за пределы нормального состояния [3-7].

Ключевую роль в новой архитектуре играет элементы системы «Среда» и «Дорога», поскольку, согласно статистическим данным, до 38 тыс. ДТП ежегодно происходят по причине неблагоприятных дорожных условий (НДУ), связанных с климатическими факторами и состоянием дорожного покрытия, особенно на дорогах местного значения [4].

Кроме того, единая архитектура ИТС должна включать в себя не только предупреждающие, но и диагностические модули. Внедрение нейросетевых алгоритмов (в частности, на базе архитектур YOLO и OpenCV) для автоматизированного восстановления следовой информации и фотограмметрии места ДТП позволяет формировать массивы верифицированных данных об объективных причинах аварий, которые, в свою очередь, должны служить базой для обучения предиктивных моделей ИТС [5].

Таким образом, ЕА-ИТС должна представлять собой многоуровневую когнитивную среду, где данные от IoT-устройств (метеодатчиков, радаров, камер) проходят процедуру фаззификации, оцениваются через когнитивные карты взаимовлияния подсистем ВАДС и выдаются в виде управляющих воздействий на АСУДД и информационных табло для участников движения.

Для обоснования математического аппарата ЕА-ИТС рассмотрим процесс внедрения данных на примере критически важного направления: прогнозирования коэффициента сцепления и формирования прогнозируемой ситуации рисков возникновения опасных ситуаций на участке УДС.

Основополагающим фактором подсистемы «Среда-Дорога» является скользкость (Y). Существующие модели часто опираются только на температуру воздуха (T_v), что недопустимо для дорог местного значения из-за термической инерции асфальтобетонного покрытия. Усовершенствованная модель с учетом поправочных коэффициентов теплового расчета (k_T) [4]:

при $T_v \leq 0°C$

$$T_p = k_{T-} \cdot T_v \quad (1)$$

при $T_v > 0°C$

$$T_p = k_{T+} \cdot T_v \quad (2)$$

где T_p – температура поверхности покрытия. Экспериментальные замеры на дорогах Белгородской агломерации показали, что $k_{T-}=0{,}79$, а $k_{T+}=1{,}61$.

Интеграция данного параметра в ЕА-ИТС позволяет рассчитать величину скользкости (Y) при отсутствии осадков, но повышенной влажности $W \in [87\%;100\%]$:

$$Y = (-0{,}170) + \Delta K_{T-})T_V - 0{,}071W + 5{,}659 \quad (3)$$

где ΔK_{T-} – поправка, учитывающая разницу между расчетным и фактическим термопрофилем конкретной дороги.

Полученные значения *Y* не могут использоваться изолированно. В рамках ЕА-ИТС они поступают в блок нечеткого вывода для расчета Интегрального индекса аварийной опасности (I_{OO}) участка УДС [3]. На основе предложенного математического аппарата сформирована 4-х уровневая архитектура ЕА-ИТС (табл. 1).

Таблица 1

Уровни единой архитектуры ИТС (ЕА-ИТС)

Уровень архитектуры	Функциональное назначение	Источники данных / Инструменты
Физический (IoT)	Сбор гетерогенных данных в реальном времени	Дорожные метеостанции, комплексы ФВФ, датчики транспорта, навигационные треки
Интеграционный (Data Lake)	Очистка, нормализация, привязка к координатам УДС	Единая шина данных, протоколы ГОСТ Р, API геоинформационных систем
Когнитивно-аналитический	Оценка ВАДС, нечеткий вывод, нейросетевой анализ	Модели YOLO (анализ видео), алгоритмы Сугено/Мамдани, 3D-фотограмметрия
Прикладной (Action)	Управляющие воздействия и информирование	АСУДД (адаптивное регулирование), табло переменной информации, экстренные службы

Предлагаемая архитектура строится на принципах системного анализа, модульности и гибкости, обеспечивая сквозной процесс от сбора первичных физических данных до реализации. Архитектура разделена на четыре функционально-технологических уровня:

1. Физический (IoT) – выступает в роли «нервной системы» интеллектуальной транспортной системы, обеспечивая непрерывный мониторинг транспортно-дорожной среды);

2. Интеграционный (Data Lake) – обеспечивает слияние, хранение и первичную обработку массивов данных, поступающих с физического уровня;

3. Когнитивно-аналитический – «интеллектуальное ядро» ИТС, где данные преобразуются в знания, расчёты и прогнозы, он отвечает за переход от реактивного к предиктивному и когнитивному управлению;

4. Прикладной (Action) – уровень архитектуры, который гарантирует замкнутый контур управления и реализацию принятых когнитивной системой решений.

Испытание предложенной модели на участке УДС регионального значения показала высокую чувствительность системы к отклонениям и колебаниям.

На основе предложенного математического аппарата и анализа передового международного опыта сформирована четырехуровневая архитектура Единой архитектуры ИТС (ЕА-ИТС), представленная в табл. 1.

В результате выполненного моделирования становится возможным выполнить прогноз аварийности, что представлено в табл. 2.

Таблица 2

Прогноз снижения показателей аварийности при переходе к ЕА-ИТС (на 5-летний период)

Показатель	Текущее значение (Локальные ИТС)	Прогноз при внедрении ЕА-ИТС	Динамика
Количество ДТП с пострадавшими	100% (базовый уровень)	78%	Снижение на 22%
ДТП, связанные с НДУ (скольжение)	100%	64%	Снижение на 36%
Время реагирования экстренных служб	100%	81%	Снижение на 19%
Пропускная способность УДС в пик	100%	115%	Снижение на 15%

Прогноз снижения показателей аварийности при переходе от локальных подсистем к ЕА-ИТС демонстрирует подтверждающие расчеты и оценку изменений основных метрик функционирования транспортно-дорожного комплекса (ТДК). Данный прогноз базируется на результатах имитационного моделирования транспортных потоков и ретроспективном анализе внедрения когнитивно-аналитических модулей управления. Интегральный эффект осуществляется за счет формирования замкнутого киберфизического контура, который гарантирует переход от реактивной ликвидации последствий дорожных происшествий к их предотвращению.

Интегральный эффект достигается за счет формирования замкнутого киберфизического контура, обеспечивающего переход от реактивной ликвидации последствий ДТП к их предиктивному предотвращению. Детальный анализ динамики показателей представлен ниже.

Формирование ЕА-ИТС, способной прогнозировать возникновение неблагоприятных дорожных условий и автоматически регулировать режимы движения на улично-дорожной сети, позволит снизить количество ДТП, связанных с погодными факторами, на 30-36% [7].

Список литературы

1. Automated dispatching control system of the mobile concrete batching plants / A. Ostroukh, Y. Nuruev, D. Ephimenko [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, № 11. – P. 6733-6736.

2. Forecasting the Passage Time of the Queue of Highly Automated Vehicles Based on Neural Networks in the Services of Cooperative Intelligent Transport Systems / V. Shepelev, S. Aliukov, S. Zhankaziev [et al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, № 2. – P. 282. – DOI 10.3390/math10020282.

3. Шевцова, А. Г. Математический анализ определенных показателей безопасности дорожного движения в Российской Федерации / А. Г. Шевцова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18, № 6 (82). – С. 700-711. – DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-6-700-711.

4. Шевцова, А. Г. Динамика реализации программы VISION ZERO в мировых странах / А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 3 (74). – С. 35-42. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-35-42.

5. Автоматизация обнаружения дорожно-транспортных происшествий на основе искусственного интеллекта / Р. Н. Минниханов, Т. Р. Баторшин, Р. М. Габбазов [и др.] // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 19–20 марта 2026 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2026. – С. 1431-1435.

6. Evaluation of the Approach for the Identification of Trajectory Anomalies on CCTV Video from Road Intersections / R. Minnikhanov, M. Dagaeva, A. Kadyrov [et al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, № 3. – DOI 10.3390/math10030388.

7. Big spatio-temporal data mining for emergency management information systems / M. Dagaeva, A. Garaeva, I. Anikin [et al.] // IET Intelligent Transport Systems. – 2019. – Vol. 13, № 11. – P. 1649-1657. – DOI 10.1049/iet-its.2019.0171.

УДК 004:371.3

V2X И MESH-ТЕХНОЛОГИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ: ПРИМЕНЕНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ

Ванюшев А.А., магистрант;
ORCID: 0009-0000-0091-0686;
E-mail: alex_von1@mail.ru;
Мокшин В.В., к.т.н., доцент кафедры АСОИУ, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-7650-3419;
E-mail: vmk550te@mail.ru

V2X AND MESH TECHNOLOGIES IN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS: APPLICATIONS, PROSPECTS, AND RESILIENCE

Vaniushev A.A., Master's Student;
ORCID: 0009-0000-0091-0686;
E-mail: alex_von1@mail.ru;
Mokshin V.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Automated Information Processing and Control Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-7650-3419;
E-mail: vmk550te@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена роли технологий взаимодействия транспортного средства со всем (Vehicle-to-Everything, V2X) и mesh-сетей в российских интеллектуальных транспортных си-

стемах. Действующая free-flow использует два канала идентификации: камеру и транспондер; V2X является перспективной связью, а глобальная навигационная спутниковая система (Global Navigation Satellite System, GNSS) – источником координат и времени. При недостоверной GNSS локальный обмен по сотовой V2X-связи (Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X) может поддерживаться альтернативной синхронизацией, но положение автомобиля уточняется по датчикам и карте. Придорожные устройства (Roadside Units, RSU) передают зональные предупреждения. Mesh-сеть предназначена только для коротких некритичных сообщений. Предложено поэтапное внедрение V2X с сохранением камер и транспондеров.

Ключевые слова: V2X, C-V2X, интеллектуальные транспортные системы, free-flow, ANPR, DSRC, GNSS, RSU, mesh-сеть

Abstract

The paper examines Vehicle-to-Everything (V2X) and mesh technologies in Russian intelligent transportation systems. Current free-flow infrastructure uses two main identification channels: cameras and transponders; V2X is a prospective communication layer, while the Global Navigation Satellite System (GNSS) supplies coordinates and time. When GNSS data are unreliable, local Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) exchange may continue through alternative synchronization, but vehicle position must be verified by onboard sensors, maps, and roadside units. Distributed Roadside Units (RSUs) deliver zone-based warnings. Mesh networking is proposed only for short, non-critical messages. A phased V2X deployment should therefore retain cameras and transponders during the transition.

Keywords: V2X, C-V2X, intelligent transportation systems, free-flow, ANPR, DSRC, GNSS, RSU, mesh network

Введение

Интеллектуальные транспортные системы (далее – ИТС) объединяют наблюдение за потоком, анализ данных и передачу управляющей информации. Большие данные помогают выявлять закономерности движения, а адаптивные свёрточные нейронные сети повышают качество распознавания транспортных объектов [1, 2]. Для своевременного предупреждения водителя нужен прямой канал между автомобилем, дорогой и центром управления.

Далее под V2X (Vehicle-to-Everything – «взаимодействие транспортного средства со всем») понимается семейство коммуникаций, а под mesh network – ячеистая сеть с возможностью передачи сообщения через промежуточные узлы. Цель обзора – отделить уже работающие в России способы регистрации проезда от перспективных V2X-сервисов и определить, как строить такой обмен при недоступной или недостоверной спутниковой координате.

Действующая free-flow и перспективный V2X-контур

В системе свободного потока (free-flow – «свободный поток») на ЦКАД и М-12 автомобиль проезжает рамку без остановки. Основных каналов идентификации проезда два: автоматическое распознавание номерного знака (Automatic Number Plate Recognition, ANPR) камерой и идентификатор транспондера, считываемый по специализированной связи ближнего действия (Dedicated Short-Range Communications, DSRC). Лазерные и иные датчики определяют наличие, габариты и категорию транспортного средства, но не образуют третий канал идентификации пользователя [3].

Глобальная навигационная спутниковая система (Global Navigation Satellite System, GNSS), включая ГЛОНАСС и GPS (Global Positioning System – глобальная система позиционирования), не является действующим самостоятельным каналом фиксации проезда в free-flow; перспективная V2X-связь также не является третьим способом оплаты. Платёжный DSRC-транспондер и полноценный V2X-сервис – не одно и то же: радиосвязь ближнего действия ещё не означает наличия V2X-сообщений безопасности и двусторонних приложений.

На рис. 1 показана именно переходная, а не уже повсеместно внедрённая схема. Камера и транспондер подтверждают проезд по двум действующим признакам, а сотовая связь автомобиля со всем (Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X) рассматривается как дополнительный канал обмена зоной, временем, предупреждениями и статусом операции.



Рис. 1. Два действующих канала идентификации и перспективный V2X-контур в архитектуре free-flow (иллюстрация автора)

Событие формируется после сопоставления времени, полосы и зоны. V2X не определяет геопозицию самостоятельно и не отменяет независимую фиксацию там, где результат имеет финансовые или юридические последствия

Архитектура обмена и единая модель событий

В автомобиле работает бортовое устройство (On-Board Unit, OBU), на дороге – придорожное устройство (Roadside Unit, RSU), а автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД) объединяет сообщения с картой, камерами и данными о дорожной обстановке. Российский пилот 2022 года на ЦКАД включал 14 сценариев, но его корректно считать испытанием разработчика, а не подтверждением массового внедрения [4]. ГОСТ Р 70982-2023 также рассматривает V2X как часть системы управления движением, а не как отдельную антенну или приложение [5].

Общий словарь должен задавать тип события, участника, участок, время, направление, опасность и срок актуальности. Графовые модели знаний формализуют связи между объектами и правилами [6] и помогают автомобилю, RSU и АСУДД одинаково трактовать предупреждение.

Работа V2X при нарушениях GNSS

Спутниковая навигация уязвима к затенению, многолучёвости, помехам, подавлению и подмене координат; эти воздействия относятся к рискам для сервисов позиционирования, навигации и времени [7]. Поэтому координата одного приёмника не является достаточным подтверждением проезда или местоположения.

При этом нарушение GNSS не всегда означает остановку радиообмена. Для прямого интерфейса PC5 в C-V2X спецификация предусматривает несколько источников синхронизации: спутниковый сигнал, обслуживающую базовую станцию или пользовательское устройство – источник синхронизации (Synchronization Reference User Equipment, SyncRef UE) [8]. Альтернативная синхронизация помогает сохранить локальную передачу, но не восстанавливает точную абсолютную координату сама по себе.

Положение следует оценивать по инерциальному измерительному модулю (Inertial Measurement Unit, IMU), одометрии, карте, камерам, радару и лидару (Light Detection and Ranging – световое обнаружение и определение дальности). Кооперативная локализация с лидаром и V2X показала работоспособность в симуляции, но не готовность к массовой эксплуатации [9]. Сообщение конкретной RSU подтверждает только присутствие в зоне радиопокрытия, а не точную геопозицию или юридически значимый проезд.

Вместе с координатой передаются её источник, время, зона, срок действия и оценка доверия. При конфликте система запрашивает проверку или возвращается к камере и транспондеру.

Распределённая V2X-инфраструктура

Перспективная сеть может строиться из компактных RSU на опорах освещения. Это не только антенна, но также приёмопередатчик, вычислительный модуль, защита, питание и канал связи с АСУДД. Распределение станций уменьшает зависимость связи от П-образной опоры, но не позволяет сразу отказаться от камер в смешанном потоке.

На рис. 2 автомобиль обнаруживает скользкий участок, передаёт событие в RSU, после чего предупреждение адресно распространяется другим участникам. Та же схема применима к ДТП, дорожным работам, затору, ухудшению видимости и временному ограничению скорости.



Рис. 2. Распространение дорожного предупреждения в распределённой V2X-сети (иллюстрация автора)

ИТС получает сведения от подключённых машин, а водитель – проверенное предупреждение. Система удаляет дубли и ограничивает область распространения локального сообщения.

Сценарии C-V2X

Сценарии C-V2X различаются адресатом. V2V (Vehicle-to-Vehicle – «автомобиль – автомобиль») используется для обмена между машинами; V2I (Vehicle-to-Infrastructure – «автомобиль – инфраструктура») связывает транспорт со светофором или RSU; V2N (Vehicle-to-Network – «автомобиль – сеть») обеспечивает доступ к удалённым сервисам; V2P (Vehicle-to-Pedestrian – «автомобиль – пешеход») охватывает предупреждения для уязвимых участников движения.

Как показано на рис. 3, эти направления дополняют друг друга. Прямой канал обеспечивает короткое предупреждение с малой задержкой, инфраструктурный уточняет участок, а сетевой поддерживает аналитику и обновление маршрута.



Рис. 3. Демонстрация направлений V2X-сетей (иллюстрация автора)

Сообщение содержит время, тип события, направление, срок актуальности и доверие к источнику. Команда на манёвр или юридически значимая операция требуют более строгой проверки, чем предупреждение

Mesh как вспомогательный слой

Ячеистая сеть может доставлять сообщение через промежуточные ретрансляционные узлы (relay nodes), когда прямой связи недостаточно. В ячеистой сети Bluetooth (Bluetooth Mesh) передача строится поверх Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth Low Energy, BLE): короткие сообщения распространяются широковещательно, число переходов ограничивается параметром срока жизни (Time to Live, TTL), а кэш принятых пакетов препятствует бесконечным повторам [10].

В ИТС mesh уместен для некритичных предупреждений и технических статусов, но не должен подменять C-V2X в сервисах, чувствительных к задержке: рост числа ретрансляторов увеличивает коллизии и нагрузку.

В ранее опубликованной работе два устройства обнаруживались, соединялись и передавали данные по BLE. Это подтверждает базовый канал, но не Bluetooth Mesh: не проверялись ретрансляция, задержка, доставка и движение. Следующий опыт должен включать не менее трёх узлов, отдельный ретранслятор и измерение задержки, потерь и индикатора уровня принятого сигнала (Received Signal Strength Indicator, RSSI).

Перспективы внедрения в России

На ближайшем этапе реалистична гибридная модель: камеры и транспондеры регистрируют проезд, RSU и C-V2X обслуживают подключённые автомобили, а АСУДД возвращает предупреждения. Начинать следует с информационных сервисов, затем переходить к приоритетному проезду и поддержке высокоавтоматизированного транспорта.

При проблемах с GNSS ценность V2X состоит не в оплате по координатам, а в устойчивом локальном контуре V2I и I2V (Infrastructure-to-Vehicle – «инфраструктура – автомобиль»), передающем зону, время и предупреждение. Сокращать число крупных рамок можно только при устойчивом покрытии, высокой доле оснащённых автомобилей и доказанной отказоустойчивости; до этого обе инфраструктуры работают параллельно.

Заключение

В действующей российской free-flow-схеме два основных канала идентификации – государственный номер, распознаваемый камерой, и транспондер. V2X и GNSS не следует пред-

ставлять как уже внедрённые равноправные каналы: V2X является перспективной связью, а GNSS – источником координат и времени.

При нарушениях спутниковой навигации C-V2X может сохранить локальный обмен при альтернативной синхронизации, но положение подтверждается датчиками, картой и инфраструктурой. Распределённые RSU расширяют взаимодействие дороги с машиной, а mesh передаёт короткие некритичные сообщения. Такая архитектура развивает российские ИТС без преждевременного отказа от проверенных средств фиксации.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования FZSU-2026-0007, рег. номер НИОКТР 126020516513-4

The study was conducted under the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education FZSU-2026-0007 (R&D registration No. 126020516513-4)

Список литературы

1. Vanyushev A. Big Data in ITS: Modern Methods of Monitoring, Analysis, and Adaptive Traffic Management / A. Vanyushev, V. Mokshin, K. Bariev // 2025 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – IEEE, 2025. – P. 548-552. – ISBN 979-8-3315-1220-0.

2. Ванюшев, А. А. Адаптивные сверточные нейронные сети в интеллектуальных транспортных системах / А. А. Ванюшев, В. В. Мокшин, Л. Ф. Мавлиев // Известия КГАСУ. – 2025. – № 2 (72). – С. 277-290. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/72.25. – EDN PMWDDV.

3. ООО «Автодор – Платные Дороги». Правила проезда и способы оплаты : [Электронный ресурс]. – URL: https://avtodor-tr.ru/info/legal-info/pravila-proezda/ (дата обращения: 22.07.2026).

4. Концерн «Телематика». Как работает технология V2X? : [электронный ресурс]. – 1 февраля 2023 г. – URL: https://telematika.com/press/news/chto_takoe_tekhnologiya_v2x/ (дата обращения: 22.07.2026).

5. ГОСТ Р 70982-2023. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным средством. Требования к структуре и архитектуре V2X-взаимодействия : [Электронный ресурс]. – Введ. 01.01.2024. – URL: https://protect.gost.ru/gost/details/e0093ee7-313f-49e0-9fd6-77fbcac20b04 (дата обращения: 22.07.2026).

6. Жданов, А. С. Графовые модели знаний для интеллектуальной генерации ответов в системах анализа правил дорожного движения / А. С. Жданов, В. И. Мурсалимов, Д. А. Шайдуллин, А. С. Норкин, А. С. Сытник // Вестник НЦБЖД. – 2025. – № 4 (66). – С. 118-127.

7. McCarthy J., Reczek K., Bartock M. et al. Foundational PNT Profile: Applying the Cybersecurity Framework for the Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing Services. – Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2021. – NISTIR 8323. – DOI 10.6028/NIST.IR.8323.

8. ETSI TS 102 636-4-3 V1.1.1. Intelligent Transport Systems; Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 3: Media-dependent functionalities for LTE-V2X. – Sophia Antipolis : ETSI, 2020. – URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360403/01.01.01_60/ts_1026360403v010101p.pdf (дата обращения: 30.08.2026).

9. Kang M.-S., Ahn J.-H., Im J.-U., Won J.-H. Lidar- and V2X-Based Cooperative Localization Technique for Autonomous Driving in a GNSS-Denied Environment // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, № 22. – Art. 5881. – DOI 10.3390/rs14225881.

10. Aijaz A., Stanoev A., London D., Marot V. Demystifying the Performance of Bluetooth Mesh: Experimental Evaluation and Optimization // arXiv. – 2021. – arXiv:2106.04230.

УДК 656.13

СИСТЕМА ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АВАРИЙНОСТИ

Евстигнеев И.А., главный архитектор ИТС АО «Западный скоростной диаметр»;
ORCID: 0009-0009-9317-2680;
E-mail: ievstigneev@mail.ru;
Солодкий А.И., д.э.н., профессор кафедры транспортных систем и дорожно-мостового строительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург, Россия;
ORCID: 0000-0001-7385-6342;
E-mail: asolodkiy@mail.ru

ROAD SAFETY ASSESSMENT SYSTEM BASED ON THE RELATIVE ACCIDENT RATE INDICATOR

Evstigneev I.A., chief architect of ITS JSC «Zapadny High-speed Diameter»;
ORCID: 0009-0009-9317-2680;
E-mail: ievstigneev@mail.ru;
Solodkiy A.I., Doctor of Economics, professor of the Department of Transport Systems and Road and Bridge Construction at the Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia;
ORCID: 0000-0001-7385-6342;
E-mail: asolodkiy@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем в контексте повышения безопасности дорожного движения. Актуальность исследования обусловлена необходимостью формирования объективных, сопоставимых и практически применимых показателей, позволяющих обоснованно планировать мероприятия по снижению аварийности и рационально распределять ресурсы.

В работе проведен анализ действующих отечественных нормативных документов, а также ведущих российских и зарубежных исследований, посвященных влиянию интеллектуальных транспортных систем на безопасности дорожного движения. Анализ существующих методик выявил их ограничения. В связи с этим, авторами предложен усовершенствованный показатель относительной аварийности, призванный преодолеть выявленные недостатки.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, оценка безопасности дорожного движения, анализ безопасности дорожного движения, аналитические методы.

Abstract

The article discusses the problem of assessing the effectiveness of intelligent transport systems in the context of improving road safety. The relevance of the study is due to the need to form objective, comparable, and practically applicable indicators that allow for reasonable planning of measures to reduce accidents and rational allocation of resources.

The paper analyzes existing domestic regulatory documents, as well as leading Russian and foreign studies on the impact of intelligent transport systems on road safety. The analysis of existing methods revealed their limitations. Therefore, the authors propose an improved relative accident rate indicator to overcome these shortcomings.

Keywords: intelligent transport systems, road safety assessment, road safety analysis, analytical methods

Введение

Эффективная система оценки безопасности дорожного движения (далее – БДД) является фундаментом для решения задач по снижению аварийности. Она позволяет обоснованно и целенаправленно планировать мероприятия по повышению безопасности.

В данной работе особое внимание уделяется аудиту БДД при формировании интеллектуальных транспортных систем (далее – ИТС).

Анализ БДД проводится на основе нормативных документов. Эти документы устанавливают порядок, критерии и требования к оценке соответствия деятельности организаций, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией автодорог, действующим нормам.

Отечественные нормативные документы содержат множество подходов, методов и разнообразных способов формирования показателей аудита БДД (Приказ Минтранса РФ от 30 апреля 2021 года №145, Приказ МВД России от 13 декабря 2021 года №1025, Распоряжение МВД России от 16 июня 2025 г. № 1/7519 «Об утверждении методик расчета показателей», Приказ МВД России от 02 мая 2023 года №264, ОДМ 218.9.011-2016, ОДМ 218.6.027-2017).

Методика

Согласно ОДМ 218.6.009-2013, уровень БДД определяется как критерий оценки степени защищенности участников дорожного движения от дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП) и их последствий.

В рамках федерального проекта «Безопасность дорожного движения» уровень БДД рассчитывается как интегральное (средневзвешенное) значение, основанное на оценках удовлетворенности трех групп участников: водителей, пассажиров и пешеходов [1].

В практической деятельности обычно используют комплекс показателей БДД, включающий следующие ключевые функциональные индикаторы:

– количество ДТП;
– число раненых при ДТП (с учетом уровня тяжести согласно Приказу Минздравсоцразвития РФ от 24 апреля 2008 г. № 194н);
– число погибших при ДТП;
– социальный риск;
– транспортный риск;
– суммарный ущерб транспортным средствам;
– суммарный ущерб объектам инфраструктуры;
– суммарный ущерб грузу.

Эти показатели могут измеряться в абсолютных значениях или в относительных величинах. Российские ученые активно изучают эту задачу [2-8].

Основная часть

Большинство исследований сосредоточено на оценке эффекта от установки видеокамер для контроля скорости транспортных средств.

Анализ нормативно-правовых, нормативно-технических документов и ведущих исследований показывает, что не существует единой универсальной формулы для расчета изменения числа ДТП со смертельным исходом или травмами.

Для гармонизации и универсальности при разработке эффективности ИТС наиболее актуальным и объективным представляется показатель, учитывающий изменение количества дорожно-транспортных происшествий со смертельным исходом или травмами в привязке к общей протяженности рассматриваемого участка.

Эффективность ИТС в обеспечении БДД обычно оценивают, сравнивая показатели до и после их внедрения.

При этом крайне важно учитывать интенсивность дорожного движения. Два участка с похожими показателями могут представлять разную степень опасности: один с проездом 1000 автомобилей в сутки, другой – с 10 000.

Такой подход используют в США, Европейском союзе и Китайской Народной Республике [9]). В США БДД оценивают в денежном эквиваленте, исходя из снижения количества ДТП, тяжести травм и числа погибших. В Китае и Европейском союзе снижение числа ДТП выражается в процентах.

Этот показатель удобен для составления региональных и федеральных отчетов, позволяя агрегировать данные с участков разной протяженности.

Аналогичная формула (В.1) приведена в ОДМ 218.6.027-2017:

$$Z = \frac{n10^6}{NLm365}, \quad (1)$$

где Z – показатель относительной аварийности;

n – число ДТП на участке дороги за расчетный период;

N – среднегодовая суточная интенсивность движения, авт./сут;

L – длина рассматриваемого участка (1,0 км.);

m – число лет в расчетном периоде (3-5 лет в зависимости от категории дороги).

Недостатком данной формулы является отсутствие весовых коэффициентов, учитывающих тяжесть последствий аварии. В результате все ДТП считаются равнозначными, независимо от их исхода: будь то с летальным исходом, с телесными повреждениями или с незначительным материальным ущербом.

Весовые коэффициенты должны отражать значительно большую социальную и экономическую значимость смертельных ДТП по сравнению с авариями, в которых пострадали люди.

В связи с этим предлагается внедрить простой показатель относительной аварийности (Z) для более точной оценки эффективности ИТС:

$$Z = \left(1 - \frac{A+\alpha D+\beta W}{L \cdot N}\right)100\%, \quad (2)$$

где L – общая протяженность рассматриваемого участка, км;

N – среднегодовая суточная интенсивность движения, авт./сут;

A – число ДТП на участке дороги за расчетный период;

D – число погибших в ДТП за текущий период контрольного времени;

W – число раненых в ДТП за текущий период контрольного времени;

α – весовой коэффициент для погибших (рекомендованный вес=5);

β – весовой коэффициент для раненых (рекомендованный вес=1).

В части применительно только к городским агломерациям общая протяженность рассматриваемого участка рассчитывается:

$$L = L_1 + L_2 + L_3, \text{ км}, \quad (3)$$

где L_1 – протяженность магистральных улиц и дорог агломерационного и общегородского значения;

L_2 – протяженность магистральных улиц и дорог районного значения;

L_3 – протяженность улиц и дорог местного значения.

В части применительно только к городским агломерациям общее число погибших в ДТП рассчитывается:

$$D = D_1 + D_2 + D_3, \quad (4)$$

где D_1 – число погибших в ДТП за текущий период контрольного времени на магистральных улицах и дорогах агломерационного и общегородского значения;

D_2 – число погибших в ДТП за текущий период контрольного времени на магистральных улицах и дорогах районного значения;

D_3 – число погибших в ДТП за текущий период контрольного времени на улицах и дорогах местного значения.

В части применительно только к городским агломерациям общее число раненых в ДТП рассчитывается:

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \quad (5)$$

где W_1 – число раненых в ДТП за текущий период контрольного времени на магистральных улицах и дорогах агломерационного и общегородского значения;

W_2 – число раненых в ДТП за текущий период контрольного времени на магистральных улицах и дорогах районного значения;

W_3 – число раненых в ДТП за текущий период контрольного времени на улицах и дорогах местного значения.

В части применительно только к городским агломерациям общая средняя суточная интенсивность движения за расчетный период рассчитывается:

$$N = \frac{N_1+N_2+N_3}{n}, \text{ авт./сут} \quad (6)$$

где N_1 – средняя суточная интенсивность движения за текущий период контрольного времени на магистральных улицах и дорогах агломерационного и общегородского значения;

N_2 – средняя суточная интенсивность движения за текущий период контрольного времени на магистральных улицах и дорогах районного значения;

N_3 – средняя суточная интенсивность движения за текущий период контрольного времени на улицах и дорогах местного значения.

n – число типов дорог участвующих в расчете.

На уравнение (2) накладывается требование что количественные параметры: *N, A, D, W* оцениваются за единый временной диапазон ΔT.

$$\Delta T = T_1 - T_2, \quad (7)$$

где ΔT – контролируемый с целью анализа безопасности дорожного движения диапазон времени, единица измерения – сутки;

T_2 – порядковый номер суток с начала года для начала оценки эффективности;

T_1 – порядковый номер суток с начала года для завершения оценки эффективности.

Преимущества данной формулы:

а) нормализация: позволяет сравнивать разные участки и периоды;

б) чувствительность к ИТС: реагирует на снижение числа ДТП и тяжести их последствий – одной из ключевых целей ИТС;

в) простота интерпретации: рост индекса однозначно говорит об улучшении безопасности;

г) интуитивно понятна: числитель – «потенциал безопасности», знаменатель – «потенциал + проблемы»;

д) гибкость: коэффициенты можно калибровать под специфику региона;

е) гарантированно дает значение от 0 до 1;

ж) простая для расчета;

з) простота анализа:

– если нет ДТП, погибших и раненых (A=D=W=0), то Z=1 (максимальная безопасность);

– чем больше проблем (ДТП, жертвы), тем ближе индекс к 0.

и) мониторинг динамики: идеально подходит для оценки изменений до и после внедрения ИТС.

Недостатки данной формулы:

а) может давать отрицательные значения при очень высоких показателях аварийности;

б) формула не различает типы ДТП (столкновения, наезды на пешеходов и т.д.). Для детального анализа может потребоваться разбивка по типам;

в) качество данных зависит от полноты и достоверности учета всех ДТП (включая те, где участники скрылись с места происшествия);

г) длительный период наблюдения. Значение будет сильно зависит от периода, за который собраны данные. Лучше использовать данные за минимум 1–3 года, чтобы сгладить случайные колебания;

Устранение этих недостатков усложнит формулу и анализ. Тем не менее, для глубокого исследования безопасности дорожного движения такой анализ может быть необходим.

В целях первичной оценки и сравнительного анализа аварийности участков дорог различной протяженности, предлагается использовать данный простой и наглядный «базовый показатель» эффективности ИТС.

Он позволяет быстро и объективно анализировать ситуацию, выявлять проблемные зоны и формировать отчетность. Органы, ответственные за БДД, могут применять этот показатель для обоснования финансирования, распределения ресурсов на наиболее аварийные участки и мониторинга динамики аварийности.

В целом видится, что предложенные подход в значительной степени подходят и к Российской Федерации с учетом специфики уже созданных и создающихся ИТС.

Заключение

В ходе настоящей работы определен функциональный индикатор эффективности интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах общего пользования – показатель относительной аварийности.

Предложенные методологические подходы отличаются высокой практической значимостью, объективностью и ясностью интерпретации. Они способствуют получению комплексной оценки эффективности ИТС и повышению общего уровня функционирования транспортной системы России.

Список литературы

1. Паспорт федерального проекта «Безопасность дорожного движения». – URL: http://: https://mintrans.gov.ru/documents/8/11529 (дата обращения: 02.07.2026).

2. Журавлев, А. Д. Концептуальные подходы к оценке эффективности функционирования интеллектуальных транспортных систем / А. Д. Журавлев, Н. Ю. Торопов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2026. – № 1 (84). – С. 107-117. – EDN ZJRKXY.

3. Евстигнеев, И. А. Общие методологические подходы к оценке эффективности интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах общего пользования / И. А. Евстигнеев // Транспортное дело России. – 2026. – № 4. – С. 123-125. – EDN TFCIVL.

4. Солодкий, А. И. Как сделать движение на улицах наших городов комфортным и безопасным? / А. И. Солодкий, С. С. Евтюков, М. П. Гурбанди // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2026. – № 1 (122). – С. 58-63. – EDN ULVUXA.

5. Автоматизация обнаружения дорожно-транспортных происшествий на основе искусственного интеллекта / Р. Н. Минниханов, Т. Р. Баторшин, Р. М. Габбазов [и др.] // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 19–20 марта 2026 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2026. – С. 1431-1435. – EDN XSRQQO.

6. Актуальный подход к оценке уровня безопасности дорожного движения в рамках реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги» / А. А. Кравченко, И. А. Новиков, Н. А. Загородний, С. В. Кущенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-2 (82). – С. 44-51. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-44-51. – EDN JHIGAQ.

7. Атамкулов, У. Т. Выборка и оптимизация методов для оценки безопасности дорожного движения за период эксплуатации автомобильной дороги / У. Т. Атамкулов, Б. М. Жоробеков // Известия Ошского технологического университета. – 2025. – № 2. – С. 20-27. – EDN YAVOQQ.

8. Жанказиев, С. В. Автоматизированный инцидент-менеджмент как инструмент снижения времени реагирования на дорожно-транспортные происшествия / С. В. Жанказиев, Д. Н. Кондык // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2026. – № 1 (84). – С. 42-50. – EDN AZEYAN.

9. Евстигнеев, И. А. Международный опыт определения функциональных индикаторов эффективности интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах / И. А. Евстигнеев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2026. – № 2 (48).

УДК 338.47

ФАКТОРЫ СПРОСА И ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА РЫНКЕ ТАКСИ

Иштирякова Л.Х., к.э.н., главный научный сотрудник ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан»;
ORCID: 0000-0002-0876-3710;
Зайнуллина М.Р., к.э.н., доцент кафедры общего менеджмента Института управления, экономики и финансов ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1086-0031

DETERMINANTS OF DEMAND AND PRICING IN THE TAXI MARKET

Ishtiryakova L.H., Chief Researcher, PhD in Economics, Center for Advanced Economic Research, the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0002-0876-3710;
Zaynullina M.R., PhD in Economics, Associate Professor at the Department of General Management, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1086-0031

Аннотация

В статье исследуются факторы, влияющие на спрос на такси и ценообразование. Анализ выполнен на основе годовых данных за 2014-2025 гг. из источников BusinesStat, Росстат и ЕМИСС. На первом этапе на основании анализа результатов Комплексного наблюдения Росстата за период 2014-2024 гг. представлены ключевые тренды спроса со стороны населения на услуги пассажирского транспорта. На втором этапе с помощью корреляционно-регрессионного анализа оценено влияние среднедушевых доходов и цены за 1 км поездки на количество поездок в такси. Установлено, что доходы и цена умеренно коррелируют с числом поездок (r = 0,72 и r = 0,64 соответственно), однако из-за высокой мультиколлинеарности и выбросов получить устойчивые количественные оценки эластичности не удалось. Тем не менее, рост доходов в целом сопровождается увеличением числа поездок, а связь спроса с ценой остается слабой, что подтверждает востребованность услуги такси даже при повышении тарифов. На третьем этапе проанализированы факторы, определяющие цену за 1 км поездки: среднедушевые доходы, цена нового автомобиля, цена бензина АИ-92, средняя заработная плата и инфляция. Все перечисленные факторы, за исключением инфляции, демонстрируют высо-

кую корреляцию с ценой такси (0,92-0,99), что подтверждает гипотезу о формировании тарифов под влиянием издержек (топливо, амортизация, оплата труда) и платежеспособного спроса. Полученные результаты могут быть полезны для ценообразования в таксомоторных компаниях и оценки последствий регулирования тарифов.

Ключевые слова: такси, спрос, ценообразование, доходы населения, пассажирский транспорт

Abstract

The article examines factors influencing taxi demand and pricing. The analysis is based on annual data for 2014-2025 from BusinesStat, Rosstat, and EMISS. At the first stage, based on the analysis of the results of the Rosstat Comprehensive monitoring for the period 2014-2024, key trends in public demand for passenger transport services are presented. At the second stage, correlation-regression analysis is used to assess the impact of per capita income and the price per 1 km of a trip on the number of taxi rides. It is found that income and price are moderately correlated with the number of rides (r = 0,72 and r = 0,64, respectively); however, due to high multicollinearity and outliers, robust quantitative elasticity estimates could not be obtained. Nevertheless, income growth is generally accompanied by an increase in the number of rides, while the relationship between demand and price remains weak, confirming that taxi services remain in demand even when fares rise. At the third stage, the factors determining the price per 1 km of a ride are analyzed: per capita income, the price of a new car, the price of AI-92 gasoline, the average wage, and inflation. All the listed factors, except for inflation, show a high correlation with taxi fare (0,92-0,99), confirming the hypothesis that tariffs are formed under the influence of costs (fuel, depreciation, labor) and effective demand. The results obtained can be useful for pricing in taxi companies and for assessing the consequences of tariff regulation.

Keywords: taxi, demand, pricing, household income, correlation-regression analysis, passenger transport

Современные интеллектуальные транспортные системы (далее – ИТС) все чаще опираются на цифровые платформы, агрегирующие спрос на мобильность: от классического общественного транспорта до такси и каршеринга. В основе эффективной работы таких систем лежат алгоритмы краткосрочного прогнозирования, динамического ценообразования и маршрутизации. Однако понимание долгосрочных фундаментальных факторов спроса (таких как доходы населения и цены на услуги) остается недостаточно изученным, хотя именно они определяют устойчивые тренды. В данной статье авторы попытались предложить модель, которая может быть интегрирована в аналитическое ядро ИТС при стратегическом планировании и регулировании тарифных политик.

На основе предоставленных данных Росстата за 2014, 2016, 2018, 2020 и 2024 гг. проведен анализ трендов пользования транспортом. Рассмотрены общие показатели, структура транспорта, временные затраты, дифференциация по полу, возрасту и инвалидности.

За исследуемый период доля респондентов, пользующихся транспортом (включая общественный, личный и такси), выросла с 85,6% в 2014 г. до 92,8% в 2024 г. (табл. 1). После периода интенсивного роста в 2014-2018 гг. (5,6 процентных пункта) динамика замедлилась. Разрыв между городским и сельским населением сократился с 4,2 до 2,3 процентных пункта, что может характеризовать выравнивание транспортной доступности. При этом в 2020 г., несмотря на пандемию, общая доля пользователей практически не снизилась (91,0% против 91,2% в 2018 г.), что может быть связано с ростом автомобилизации населения.

«Важным дополнением к маршрутной транспортной системе в последние десятилетия выступает такси, рост на услуги которого объясняется, прежде всего, внедрением новых технологий, а также легкостью и гибкостью получения услуг частного извоза» [9, с. 95]. Оно «прекрасно вписывается в транспортную систему городов, являясь дополнением к обществен-

ному, а также альтернативой личному транспорту. Сервис помогает увеличивать мобильность граждан во все районы города, в том числе и удаленные, а также пункты назначения, находящиеся за пределами города» [11, с. 48].

Таблица 1

Общая динамика пользования транспортом (лица 15+ лет)

Год	Все респонденты	Городские	Сельские	Разрыв город–село
2014	85,6%	86,7%	82,5%	4,2 п.п.
2016	88,3%	89,4%	85,2%	4,2 п.п.
2018	91,2%	91,8%	89,3%	2,5 п.п.
2020	91,0%	91,7%	88,6%	3,1 п.п.
2024	92,8%	93,4%	91,1%	2,3 п.п.

Источник: Росстат.

Одновременно наблюдается устойчивая обратная корреляция между ростом личной автомобилизации и долей общественного транспорта. Доля пользователей, использующих только общественный транспорт, снизилась с 58,1% в 2016 г. до 56,7% в 2024 г., все больше граждан имеют возможность заменить общественный транспорт личным автомобилем или такси. Увеличение времени ожидания общественного транспорта, достигшее в среднем 15,8 мин. в 2024 г., создает «замкнутый круг»: снижение числа пассажиров ведет к сокращению рейсов, рост интервалов снижает количество пассажиров. Наиболее острая ситуация сложилась в селах с населением 201-1000 человек (время ожидания 20,5 мин., доля пользующихся общественным транспортом – 33,1%) и в городах с населением 100-250 тыс. жителей (15 мин. ожидания).

В исследуемый период выделяются 2018 г. (максимальный уровень пользования такси и общественным транспортом), 2020 г. (резкое падение доли общественного транспорта в городах при сохранении общей мобильности за счет личного авто) и 2024 г. (минимальный за исследуемый период показатель доли общественного транспорта – 50,5%, на фоне максимального уровня времени ожидания). В городах-миллионниках доля общественного транспорта остается высокой благодаря развитой сети и пробкам, стимулирующим отказ от автомобиля. Социальные группы инвалидов и пожилых людей стали активнее пользоваться транспортом, что говорит о повышении инклюзивности.

Главная тенденция 2014–2024 гг. – устойчивый переход от общественного транспорта к личному автомобилю. Пандемия 2020 г. ускорила этот процесс, но не снизила общую мобильность. К 2024 г. накопились серьезные проблемы с регулярностью общественного транспорта, особенно в средних и малых населенных пунктах. В последние годы наблюдается динамика роста пользования населением услугами такси. Так, если в 2014 г. доля населения, регулярно пользующегося услугами такси, составляла 12% [10, с. 85], то в 2024 г. – 13,6%. Полученные результаты служат контекстом для последующего анализа одного из сегментов транспортной мобильности – рынка такси, где спрос формируется под влиянием цены и доходов населения.

Выявленные проблемы (отток пассажиров с общественного транспорта, рост времени ожидания) создают предпосылки для более активного внедрения интеллектуальных систем управления транспортными потоками, включая интеграцию такси в сервисы Mobility as a Service (MaaS). Понимание долгосрочных трендов спроса необходимо для корректной настройки алгоритмов, распределяющих пассажиропоток между видами транспорта в реальном времени.

Для анализа использованы годовые данные за период 2014-2025 гг., представленные в BusinesStat, Росстат.

В анализ включены следующие переменные:

Y – количество поездок в такси, млн ед.;

P – цена за 1 км поездки, руб.;

I – среднедушевые доходы населения, руб.

Все три ряда демонстрируют устойчивую тенденцию к росту, что предполагает наличие общего временного тренда.

Корреляционная матрица (табл. 2) показывает положительную связь между переменными.

Таблица 2

Парные коэффициенты корреляции Пирсона

Переменная	Поездки (Y)	Цена (P)	Доходы (I)
Поездки (Y)	1,00	–	–
Цена (P)	0,64	1,00	–
Доходы (I)	0,72	0,99	1,00

По результатам корреляционного анализа данных за 2014-2025 гг. выявлена положительная умеренная связь между среднедушевыми доходами и количеством поездок в такси ($r = 0,72$), а также более слабая положительная связь между ценой поездки и числом поездок ($r = 0,64$). Цена и доходы, в свою очередь, демонстрируют очень тесную взаимосвязь ($r = 0,99$), что указывает на их синхронный рост во времени.

Попытка построить множественную регрессию в логарифмической форме не привела к статистически значимым и экономически интерпретируемым коэффициентам из-за мультиколлинеарности и наличия выбросов (аномально низкий уровень поездок в 2014 г., снижения в 2018 и 2025 гг.). Очистка рядов от тренда с помощью перехода к годовым приростам также не позволила получить устойчивую модель ($R^2 = 0,23$, модель статистически незначима).

Таким образом, на имеющихся данных нельзя количественно оценить эластичность спроса на такси по цене и доходам. Однако умеренные положительные корреляции позволяют утверждать, что рост доходов в целом сопровождается увеличением числа поездок, а связь спроса с ценой остается слабой, что подтверждает востребованность услуги такси даже в условиях роста тарифов.

По оценкам BusinesStat, в 2024 г. «количество поездок на такси в России выросло лишь на 2% до 3,4 млрд. Одной из основных причин замедления темпов роста рынка стало снижение доступности услуг такси. На рынке наблюдается нехватка водителей. Из-за роста операционных расходов, связанных с приобретением топлива, техническим обслуживанием автомобилей и другими затратами, перевозчики были вынуждены пересмотреть свои тарифы. Это привело к тому, что стоимость поездок возросла, что, в свою очередь, заставило менее платежеспособных клиентов искать альтернативные способы передвижения или ограничивать частоту использования такси» [4].

Согласно данным аналитического агентства BusinesStat, «в 2021 г. численность поездок на такси в России увеличилась до 2,62 млрд, но не достигла уровня 2019 г. Рынок частично восстановился после падения в 2020 г. (на 4,0%)» [3]. Этот факт подтверждает, что даже после резкого спада спрос на такси восстанавливается, что характерно для неэластичных услуг.

Поскольку проведенный анализ показал, что цена за 1 км поездки оказывает влияние на количество поездок в такси, следующим этапом исследования является выявление факторов, определяющих саму эту цену.

Для оценки влияния на цену такси были отобраны следующие переменные:

– доходы населения, поскольку они отражают платежеспособный спрос и задают верхнюю границу приемлемого для пассажиров тарифа;

– цена нового легкового автомобиля иностранной марки, так как амортизация и лизинговые платежи являются одной из ключевых статей издержек таксопарков;

– цена бензина марки АИ-92, представляющая основные переменные затраты водителей;

– средняя заработная плата, влияющая на стоимость труда водителей и, соответственно, на себестоимость поездки;

– индекс потребительских цен, характеризующий общий рост цен в экономике.

Данный набор переменных отражает ключевые компоненты издержек и спроса, формирующие рыночную цену поездки (табл. 3).

Ввиду отсутствия данных по ценам на автомобили за 2014-2017 гг. в используемом источнике (ЕМИСС), анализ факторов ценообразования проведен за период 2018-2025 гг.

Таблица 3

Переменные для анализа ценообразования в такси (2018–2025 гг.) [5]

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Доходы населения, руб.	33138	35233	35934	39934	47386	53579	63959	74845
Средняя цена на легковой автомобиль иностранной марки новый, руб.	915006	996680	1067942	1251427	1825767	2215080	2406268	2472833
Средняя цена на бензин автомобильный марки АИ-92, руб./л	40,4	42,1	42,9	45,5	47,3	49,0	52,4	58,4
Средняя заработная плата, руб.	43724,0	47867,0	51344,0	57244,0	65338,0	74854,0	89069,0	100360,0
Инфляция, % (годовой темп)	102,9	104,5	103,4	106,7	113,8	105,9	108,5	108,7

Для оценки тесноты связи между ценой за 1 км поездки в такси и выбранными факторами проведен расчет парных коэффициентов корреляции Пирсона за период 2018-2025 гг. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Матрица парных коэффициентов корреляции Пирсона (2018–2025)

Переменная	Цена поездки в такси	Доходы	Цена авто	Бензин	Зарплата	Инфляция
Стоимость проезда в такси	1,00	–	–	–	–	–
Доходы населения	0,99	1,00	–	–	–	–
Цена на новый легковой автомобиль	0,92	0,95	1,00	–	–	–
Цена бензина АИ-92	0,96	0,99	0,93	1,00	–	–
Средняя заработная плата	0,99	0,99	0,97	0,99	1,00	–
Инфляция (ИПЦ)	0,42	0,53	0,61	0,56	0,54	1,00

Примечание: все коэффициенты, кроме инфляции, статистически значимы при $p < 0,01$.

Все отобранные факторы, кроме инфляции, тесно связаны с ценой такси, что указывает на определяющую роль платежеспособного спроса и операционных расходов в формировании тарифов такси. Средняя цена нового автомобиля также отражает влияние амортизации и лизинга. Инфляция коррелирует слабо (r = 0,42), так как измеряет изменение цен, а не их уровень.

Высокая корреляция цены такси со стоимостью автомобиля, бензина и зарплатой (0,92-0,96) показывает, что любые резкие изменения внешних условий (рост цен на топливо, удорожание машин из-за курсовых разниц) быстро отражаются на тарифах. Для интеллектуальных систем это означает необходимость мониторинга этих индикаторов в реальном времени, например, для автоматической корректировки «пороговых» значений цены в алгоритмах агрегаторов или для сценарного анализа при разработке регуляторных мер.

Актуальность проведенного анализа подтверждают и результаты опроса ВЦИОМ 2024 г., который показал, что «две трети пассажиров такси отмечают рост стоимости поездок за последний год (66%)» [6].

По результатам проведенного корреляционно-регрессионного анализа на основе данных за 2014-2025 гг. можно сделать следующие выводы. Между среднедушевыми доходами и количеством поездок в такси выявлена положительная умеренная корреляция (r = 0,72), а связь между ценой за 1 км и числом поездок оказалась более слабой (r = 0,64). Из-за высокой мультиколлинеарности цены и доходов (r = 0,99), а также наличия выбросов (аномально низкий уровень поездок в 2014 г., снижения в 2018 и 2025 гг.) построение устойчивой регрессионной модели, позволяющей количественно оценить эластичность спроса, не представилось возможным. Тем не менее умеренные положительные корреляции указывают на то, что при росте доходов число поездок в целом увеличивается, а связь с ценой остается слабой, что подтверждает востребованность услуги такси даже в условиях роста тарифов.

Что касается факторов, формирующих саму цену такси, то к ним относятся среднедушевые доходы, средняя заработная плата, цена бензина АИ-92 и цена нового легкового автомобиля иностранной марки. Все эти показатели тесно связаны с ценой такси (коэффициенты корреляции 0,92-0,99), а сами факторы также сильно коррелируют между собой (0,95-0,99), поэтому с помощью обычной регрессии невозможно точно разделить их вклад. Тем не менее корреляционный анализ показывает, что цена услуги такси складывается под влиянием двух групп факторов: издержек (топливо, амортизация машин, зарплата водителей) и платежеспособного спроса (средняя заработная плата). Инфляция коррелирует с ценой такси слабее (r = 0,42), что объясняется тем, что инфляция измеряет изменение цен, а не их абсолютный уровень.

Масштаб роста издержек в последние годы подтверждается данными Аналитического центра при Правительстве РФ: «Ежедневные расходы водителя на топливо, техническое обслуживание и амортизацию выросли в среднем почти в 1,5 раза (на 58%, 75%, 63% соответственно), стоимость автомобиля – в 1,5-2 раза, а лизинговые платежи – в 1,3-1,5 раза» [1].

Полученные результаты важны для ИТС. Коэффициенты ценовой эластичности можно использовать для настройки алгоритмов динамического ценообразования. Это позволит агрегаторам точнее предсказывать, как изменится пассажиропоток при повышении или понижении тарифов. Эластичность по доходам пригодится для долгосрочных прогнозов в цифровых двойниках городской мобильности – например, чтобы оценивать, как рост благосостояния населения скажется на числе поездок. А высокая связь цены такси с издержками говорит о том, что ИТС должны отслеживать эти индикаторы в реальном времени, например, для автоматической корректировки верхних границ тарифов и для оценки последствий государственного регулирования (как повлияет на рынок повышение налогов или льготы для таксопарков).

Таким образом, среднедушевые доходы являются центральным фактором, влияющим на рынок такси, однако их воздействие проявляется по-разному. С одной стороны, между доходами и количеством поездок выявлена положительная умеренная связь (r = 0,72): рост

доходов ведет к увеличению спроса. С другой стороны, доходы, наряду с издержками, тесно связаны с уровнем тарифов (r = 0,99), то есть при росте доходов перевозчики получают возможность повышать цены, что могло бы сдерживать спрос, однако на практике связь цены с количеством поездок остается слабой (r = 0,64) и положительной, то есть повышение тарифов не приводит к заметному снижению востребованности услуги. Динамика цены за 1 км поездки в первую очередь определяется основными статьями издержек таксопарков и водителей (стоимостью автомобилей, топлива и оплатой труда), о чем свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции (0,92-0,99).

Список литературы

1. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. Комплексный анализ рынка такси в Российской Федерации: итоги 2019-2024 гг. – URL: [https://ac.gov.ru/] (дата обращения: 30.04.2026).

2. BusinesStat. Анализ рынка такси в России в 2020 г. // РБК Магазин исследований. – 12 февраля 2021. – URL: https://marketing.rbc.ru/articles/12202/

3. BusinesStat. Анализ рынка такси в России в 2021 г. // РБК Магазин исследований. – 6 июня 2022. – URL: https://marketing.rbc.ru/articles/13500/ (дата обращения: 06.05.2026).

4. BusinesStat. В 2024 г количество поездок на такси в России выросло лишь на 2% до 3,4 млрд. // РБК Магазин исследований. – 15 апреля 2025. – URL: https://marketing.rbc.ru/articles/15705/ (дата обращения: 06.05.2026).

5. Единая межведомственная информационно-статистическая система. – URL: http://www.fedstat.ru/indicators/start.do (дата обращения: 26.04.2026).

6. Исследование ВЦИОМ. Такси в России: восприятие и оценка качества услуг» / Всероссийский центр изучения общественного мнения. – 2024. – URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/taksi-v-rossii-vosprijatie-i-ocenka-kachestva-uslug (дата обращения: 06.05.2026).

7. Федеральная служба государственной статистики (Росстат) : [офиц. сайт]. – Москва. – URL: https://rosstat.gov.ru (дата обращения: 25.05.2026).

8. Иштирякова, Л. Х. Анализ основных тенденций изменения спроса на услуги в сфере частного извоза (такси, сервисов «экономики совместного потребления») / Л. Х. Иштирякова, Ю. Г. Мингазова, М. Р. Зайнуллина // Вестник экономики, права и социологии. – 2020. – № 2. – С. 11-14.

9. Иштирякова, Л. Х. Тенденции пользования общественным транспортом и такси в городских и сельских населенных пунктах / Л. Х. Иштирякова // Креативная экономика. – 2021. – Т. 15, №1. – С. 93-104.

10. Иштирякова, Л. Х. Тенденции использования общественного транспорта и такси в городах с различной численностью населения / Л. Х. Иштирякова, М. Р. Зайнуллина // Вестник НЦБЖД. – 2025. – № 3 (65). – С. 83-90. – EDN VZRPLW.

11. Сафиуллин, М. Р. Анализ рынка городского передвижения и влияния Убер на развитие рынка в России, с фокусом на следующих городах: Москва, Санкт-Петербург, Казань, Новосибирск и Екатеринбург / М. Р. Сафиуллин, О. Н. Запорожец, О. В. Бычкова, А. А. Фазлыев, М. В. Савеличев и др. // Электронный экономический вестник Татарстана. – 2017. – № 2. – С. 4-63.

12. Enoch, M. Mobility as a Service (MaaS): in the UK: Change and its Implications. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5c1a60f540f0b60bb6e03617/Mobilityasaservice.pdf (date of access: 15.05.2026).

13. Xu, M. Surge pricing and consumer surplus in the ride-hailing market: Evidence from China / M. Xu, Anupriya Anupriya, Prateek Bansal // Travel Behaviour and Society. – 2023. – Vol. 33 (2). – Art. 100638.

УДК 004.89

НЕЙРОНЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОНЛИВОСТИ ВОДИТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Курбанов Б., аспирант;
ORCID: 0009-0006-5777-675X;
Катасёв А.С., д.т.н., профессор кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-9446-0491

A NEURAL FUZZY KNOWLEDGE BASE MODEL FOR DETERMINING DRIVER SLEEPINESS IN TRANSPORTATION SECURITY SYSTEMS

Kurbanov B., postgraduate student;
ORCID: 0009-0006-5777-675X;
Katasev A.S., Doctor of Technical Sciences, Professor of the information security systems department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-9446-0491

Аннотация

Рассмотрена актуальная проблема повышения безопасности дорожного движения, связанная с распознаванием состояния сонливости водителя. Сонливость является одной из причин дорожно-транспортных происшествий. Среди информативных поведенческих признаков этого состояния выделяют динамику моргания и зевания, регистрация которых возможна с использованием методов компьютерного зрения. Однако существующие решения, основанные на глубоких моделях машинного обучения, часто страдают от недостаточной интерпретируемости либо используют жесткие пороговые значения, не учитывающие нечеткость физиологических границ. Для преодоления этих ограничений предложена оригинальная нейронечеткая модель с дискретным выходом. Ключевой особенностью модели является возможность преобразования обученной структуры в интерпретируемую базу знаний в виде системы нечетких правил «Если-То». Исследование проводилось на наборе данных, включающем 6110 примеров. Применение разработанных генетических алгоритмов структурной и параметрической идентификации нейронечеткой модели позволило достичь на тестовой выборке точности классификации 0.875 при ее структурной идентификации. На этапе параметрической идентификации на обучающей выборке получены максимальные значения метрик, однако результаты на тестовой выборке показали снижение до 0.835. Сформированная база знаний обеспечивает высокую интерпретируемость принимаемых решений, что делает предложенный подход перспективным для внедрения в бортовые интеллектуальные системы мониторинга функционального состояния водителя для предотвращения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: нейронечеткая модель, нечеткая нейронная сеть, база знаний, определение сонливости водителя, динамика моргания и зевания

Abstract

This article examines the pressing issue of improving road safety related to driver drowsiness recognition. Drowsiness is a contributing factor in road accidents. Among the informative behavioral indicators of this condition are blinking and yawning dynamics, which can be recorded using

computer vision methods. However, existing solutions based on deep machine learning models often suffer from insufficient interpretability or use rigid thresholds that fail to account for the fuzziness of physiological boundaries. To overcome these limitations, a unique neuro-fuzzy model with a discrete output is proposed. A key feature of the model is the ability to transform the trained structure into an interpretable knowledge base in the form of an If-Then fuzzy rule system. The study was conducted on a dataset containing 6,110 examples. Using the developed genetic algorithms for structural and parametric identification of the neuro-fuzzy model, a classification accuracy of 0.875 was achieved for structural identification on the test sample. During the parametric identification phase, maximum metric values were obtained on the training set, but the results on the test set showed a decrease to 0.835. The resulting knowledge base ensures high interpretability of decisions, making the proposed approach promising for implementation in on-board intelligent driver monitoring systems to prevent accidents.

Keywords: neuro-fuzzy model, fuzzy neural network, knowledge base, driver drowsiness detection, blinking and yawning dynamics

Введение

В современных системах обеспечения транспортной безопасности одной из ключевых задач является своевременное выявление состояние сонливости водителя [1]. Сонливость может приводить к критическим ошибкам, задержкам реакции, ухудшению внимательности, как следствие, к аварийным ситуациям. Как известно, значительная доля дорожно-транспортных происшествий связана с засыпанием водителя за рулем. В связи с этим разработка методов оперативного и достоверного распознавания сонливости представляет собой актуальное направление исследований в области машинного обучения [2] и компьютерного зрения [3]. Среди поведенческих признаков, характеризующих сонливость, особое значение имеют динамика зевания и моргания. Эти признаки являются информативными индикаторами состояния сонливости и могут быть зарегистрированы с использованием методов компьютерного зрения без применения инвазивных датчиков.

Для анализа поведенческих признаков применяются методы машинного обучения [4], нейронные сети [5] и глубокие модели [6]. Они позволяют выявлять сложные нелинейные зависимости между наблюдаемыми признаками и функциональным состоянием человека. Однако такие решения либо используют «жесткие» пороговые значения, не учитывающие нечеткость физиологических границ, либо реализованы в виде «черных ящиков», не позволяющих интерпретировать принятое решение о состоянии сонливости водителя. Отсутствие интерпретируемости становится критическим ограничением при внедрении и использовании таких систем.

Одним из перспективных направлений решения указанных проблем является применение нейронечетких моделей [7, 8] с возможностью представления знаний в форме лингвистических правил «Если-То», составляющих нечеткие базы знаний и обеспечивающих высокую интерпретируемость. Полученные решения могут быть использованы при разработке бортовых автомобильных систем определения сонливости водителя.

Архитектура разработанной нейронечеткой модели

В работе для формирования нечеткой базы знаний и определения сонливости водителей использована специально разработанная нейронечеткая модель с дискретным выходом.

На рис. 1 представлен пример структуры нейронечеткой модели.

Первый слой содержит входные нейроны и представляется вектором $X = (x_1, ..., x_7)$, в котором элементы x_i ($i = 1..7$) соответствуют признакам сонливости водителя: частота зевания, частота моргания, среднее время закрывания глаз, среднее время закрытых глаз, среднее время открывания глаз, средняя степень открытия рта при зевании, среднее время зевания.

Второй слой – это градации входных нейронов, формализуемые с помощью функций принадлежности (ФП) в следующем виде:

$$\widetilde{A}_1^1, \ldots, \widetilde{A}_{m_1}^1, \ldots, \widetilde{A}_1^7, \ldots, \widetilde{A}_{m_7}^7,$$

где $m_1, \ldots, m_7$ – число градаций для соответствующих входных нейронов.

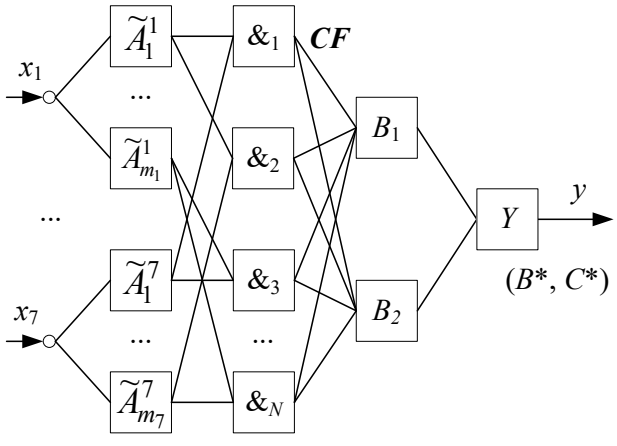


Рис. 1. Структура нейронечеткой модели

Таким образом, для каждого входного нейрона определено m_i нечетких градаций, каждая из которых формализована трапецеидальной ФП.

Третий слой нейронечеткой модели составляют нейроны-антецеденты, обозначаемые $\&_1, \ldots, \&_N$. Каждый такой нейрон реализует операцию нечеткой конъюнкции (логическое «И») над активированными функциями принадлежности различных входных нейронов.

Поскольку задача классификации предполагает два возможных состояния человека «бодрый» (B_1) и «сонливый» (B_2), то четвертый слой содержит два нейрона, соответствующих этим состояниям.

Веса связей нейронов между слоем нейронов-антецедентов и слоем состояний задаются матрицей *CF*, элементы которой служат для оценки достоверности каждого правила в нейронечеткой модели.

Выходной нейрон *y* формирует результирующий сигнал, на основе которого принимается решение: выбирается состояние B^* с максимальной активацией, а также вычисляется достоверность полученного решения C^*.

Важной особенностью рассмотренной архитектуры является возможность формирования на ее основе базы знаний в виде системы нечетких правил «Если-То». Это достигается за счет того, что после завершения обучения и настройки весов в матрице *CF* каждый нейрон-антецедент с ненулевым весом интерпретируется как нечеткое продукционное правило, а элементы матрицы весов определяют степени уверенности в заключении правил.

Формирование базы знаний на основе нейронечеткой модели

Одной из ключевых особенностей нейронечетких моделей является возможность преобразования полученной структуры в интерпретируемую базу знаний [9]. Такая база знаний позволяет не только выполнять классификацию состояния сонливости человека, но и анализировать логические зависимости между входными признаками и принимаемыми решениями. Следовательно, следующим этапом является реализация метода формирования базы знаний, на основе обученной нейронечеткой модели.

Основная идея метода заключается в том, что каждая последовательность прохождения сигнала через нейронечеткую модель соответствует нечеткому правилу. Следовательно, анализ структуры сети и активных межнейронных связей позволяет извлечь систему нечетких правил, описывающих взаимосвязь между входными признаками и состоянием водителя.

На рис. 2 представлена схема разработанного метода формирования нечеткой базы знаний на основе построенной нейронечеткой модели.

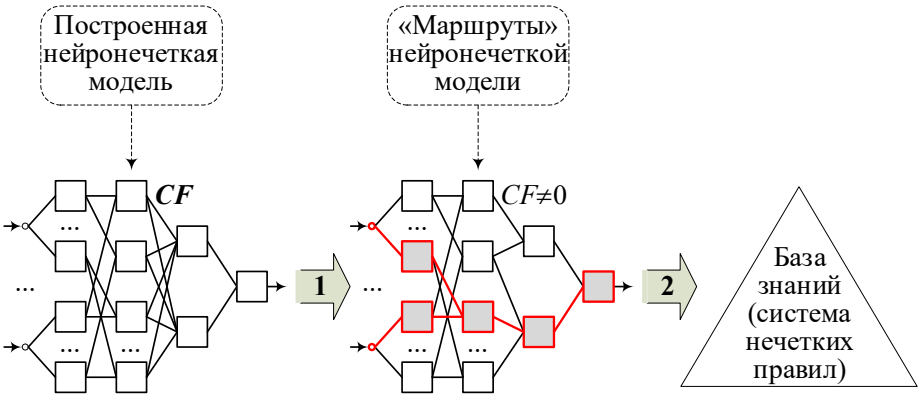


Рис. 2. Схема формирования базы знаний

Метод формирования базы знаний включает два последовательных этапа. Первый этап – это удаление нулевых межнейронных связей в построенной нейронечеткой модели. В процессе обучения часть связей может приобретать нулевые значения весовых коэффициентов, что свидетельствует об отсутствии их влияния на результат классификации. Такие связи не участвуют в формировании выходного решения и, следовательно, могут быть исключены из структуры модели без потери точности классификации. Удаление нулевых связей позволяет существенно упростить структуру нейронечеткой сети и уменьшить количество потенциально генерируемых правил.

После упрощения структуры модели выполняется процедура генерации нечетких правил. Генерация правил осуществляется на основе анализа всех возможных путей прохождения сигнала от входного слоя нейронечеткой модели к выходному нейрону. Каждый такой путь, содержащий только связи с ненулевыми весовыми коэффициентами, рассматривается как маршрут в нейронечеткой модели.

Пусть входной вектор признаков имеет вид $X = (x_1, x_2, ..., x_7)$, где входные переменные x_i характеризуют динамику моргания и зевания водителя. Для каждой входной переменной определены ФП $\{\widetilde{A}_1^1, ..., \widetilde{A}_{m_1}^1, ..., \widetilde{A}_1^7, ..., \widetilde{A}_{m_7}^7\}$.

В результате для каждого маршрута генерируется правило вида:

$$\text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } \widetilde{A}_1^1 \text{ И } ... \text{ И } x_7 \text{ есть } \widetilde{A}_{m_7}^7 \text{ ТО } y \text{ есть } B_k,$$

где B_k – одно из двух функциональных состояний человека.

Таким образом, каждый маршрут в нейронечеткой модели соответствует отдельному правилу. В результате сформирована интерпретируемая система нечетких правил, отражающая закономерности между динамикой моргания, зевания и состоянием сонливости человека. Полученная база знаний состоит из 1412 правил и может быть использована для построения интеллектуальных систем мониторинга функционального состояния водителей для повышения транспортной безопасности и предотвращения аварийных ситуаций.

Исследование эффективности модели и сформированной базы знаний

Экспериментальная проверка эффективности нейронечеткой модели и сформированной базы знаний осуществлялась на основе видеоданных, содержащих признаки сонливости человека. Основной целью экспериментов являлся анализ точности классификации сонливости человека на основе динамики моргания и зевания.

Для формирования обучающей и тестовой выборок использовались два набора данных. Первый представлял собой собственный набор видеоданных Students Drowsiness Dataset (SDD), включающий 4036 видеозаписей, распределенных по двум классам («сонливый» и «бодрый»). Видеозаписи отражали различные проявления функционального состояния человека, включая зевоту, моргание, кивание головой, изменение направления взгляда и другие

поведенческие особенности. Второй набор данных Sivas University of Science and Technology Driver Drowsiness Dataset (SUST-DDD) взят из открытого источника Kaggle [10]. Набор содержит 2074 видеозаписи, распределенные по классам «drowsiness» и «not drowsiness». Видеозаписи фиксируют различные поведенческие признаки состояния человека, включая зевоту, моргание, кивание головой, разговор, смех и отведение взгляда.

Для повышения репрезентативности указанные наборы данных были объединены в единый банк видеоданных. Далее для каждого видеофайла выполнялось извлечение информативных признаков, характеризующих сонливость человека по динамике моргания и зевания. Полученные значения признаков заносились в таблицу данных, где каждому примеру сопоставлялась метка состояния человека: значение «0» соответствовало бодрому состоянию, а значение «1» – состоянию сонливости. Таким образом, итоговый набор данных включал 6110 примеров, из которых классу бодрствования («0») соответствовало 3104 примеров, а классу сонливости («1») – 3006. Такое распределение позволило снизить риск возникновения систематического смещения при обучении модели. В результате сформирована обучающая выборка объемом 6110 примеров, используемая для обучения нейронечеткой модели, а также тестовая выборка объемом около 2248 примеров, предназначенная для оценки обобщающей способности модели.

Далее выполнялось обучение нейронечеткой модели с использованием специально разработанных генетических алгоритмов ее структурной и параметрической идентификации. Результаты работы алгоритмов структурной ($ГА_1$) и параметрической ($ГА_2$) идентификации нейронечеткой модели представлены в табл. 1.

Таблица 1

Метрики качества классификации нейронечеткой модели на этапах ее структурной и параметрической идентификации

Этап построения модели	Выборка	Метрики качества классификации			
		Accuracy	*Precision*	*Recall*	*F1-score*
Структурная идентификация	обучающая	0.983	0.984	0.982	0.983
	тестовая	0.875	0.894	0.870	0.872
Параметрическая идентификация	обучающая	1.000	1.000	1.000	1.000
	тестовая	0.835	0.837	0.815	0.812

Полученные результаты показывают, что на обучающей выборке нейронечеткая модель достигла высокой точности классификации. На этапе структурной идентификации модели значение метрики Accuracy составило 0.983, что свидетельствует о корректности определения функционального состояния человека. Значения метрик Precision и Recall на этом этапе составили соответственно 0.984 и 0.982, а значение метрики F1-score – 0.983, что указывает на сбалансированность качества классификации по обоим классам.

В результате параметрической идентификации модели на обучающей выборке была достигнута максимальная точность классификации. Значения всех метрик (Accuracy, Precision, Recall и F1-score) составили 1.000. Однако анализ результатов на тестовой выборке демонстрирует несколько иную картину. На этапе структурной идентификации значение Accuracy составило 0.875, что свидетельствует о достаточно высокой обобщающей способности модели. При этом значение Precision составило 0.894, Recall 0.870, а F1-score 0.872. Для параметрической идентификации модели на тестовой выборке значение Accuracy составило 0.835, а значения Precision, Recall и F1-score – соответственно 0.837, 0.815 и 0.812.

Полученные результаты показывают, что разработанные генетические алгоритмы структурно-параметрической идентификации позволяет эффективно формировать структуру нейронечеткой модели и выполнять точную настройку параметров ее функций принадлеж-

ности. Использование генетических алгоритмов обеспечивает эффективный поиск оптимальных решений в условиях высокой размерности пространства параметров. В целом результаты экспериментов подтверждают возможность эффективного применения разработанного подхода для определения сонливости водителей в интеллектуальных системах транспортной безопасности.

Заключение

В работе рассмотрена задача формирования нечеткой базы знаний для определения функционального состояния водителя на основе анализа его поведенческих признаков сонливости. Для решения этой задачи предложен подход, основанный на использовании нейронечеткой модели.

На первом этапе исследования сформирован набор данных для построения нейронечеткой модели. Набор представляет собой объединение собственного набора данных Students Drowsiness Dataset (SDD), содержащего 4036 видеозаписей, и общедоступного набора данных Sivas University of Science and Technology Driver Drowsiness Dataset (SUST-DDD), включающего 2074 видеозаписи. В результате обработки видеозаписей извлечены количественные значения признаков, характеризующих функциональное состояние человека, после чего сформирована таблица данных для анализа с бинарными метками: «0» – бодрое состояние, «1» – сонливость. Итоговое распределение данных по классам составило 3104 и 3006 примеров соответственно. Общий объем обучающей выборки составил 6110 примеров, а тестовой около 2248 примеров.

Результаты экспериментов на основе построенной нейронечеткой модели показали высокую эффективность предложенного подхода к определению сонливости человека. На обучающей выборке данных структурно-идентифицированная нейронечеткая модель продемонстрировала точность классификации 0.983, тогда как на этапе параметрической идентификации модель достигла максимальной точности классификации. На тестовой выборке наилучшие результаты показала структурно-идентифицированная модель, обеспечив точность классификации 0.875, что свидетельствует о ее хорошей обобщающей способности.

На основе построенной нейронечеткой модели сформирована нечеткая база знаний, представляющая собой интерпретируемую систему нечетких правил, отражающую зависимости между признаками сонливости и функциональным состоянием человека. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода к формированию базы знаний на основе нейронечеткой модели. Сформированная база знаний может быть эффективно использована при создании интеллектуальных систем определения сонливости человека, в частности сонливости водителей в интеллектуальных системах транспортной безопасности.

Список литературы

1. Булыгин, А. О. Анализ современных исследований в области детектирования утомления водителя в кабине транспортного средства / А. О. Булыгин, А. М. Кашевник // Системы анализа и обработки данных. – 2021. – № 3 (83). – С. 19-36.

2. Нигрей, А. А. Методы автоматической оценки психофизиологического состояния человека по параметрам электроэнцефалограмм (обзор) / А. А. Нигрей, С. С. Жумажанова, А. Е. Сулавко // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 21-34.

3. Medvedeva, I. A. Automated complex development project based on computer vision technology / I. A. Medvedeva, M. V. Vanslav, M. A. Ragozina // Natural and Technical Sciences. – 2022. – № 7 (170). – P. 177-178.

4. Shamraeva, V. Assessment of the transport and operational condition of roads based on mobile laboratory data using machine learning methods / V. Shamraeva // Architecture and Engineering. – 2025. – Vol. 10, № 1. – P. 89-102.

5. Сабиров, А. И. Нейросетевая система распознавания дорожных знаков / А. И. Сабиров, Р. Н. Минниханов, А. С. Катасёв, Р. И. Мустафин // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27, № 1. – С. 87-91.

6. Курбанов, Б. Сверточная нейросетевая система оценки усталости человека по выражению лица / Б. Курбанов, А. С. Катасёв // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 7. – С. 70-73.

7. Катасёва, Д. В. Нейронечеткая модель оценки вредоносности сетевого трафика в Android-приложениях / Д. В. Катасёва, Д. Д. Лосева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 1. – С. 77-80.

8. Shabelnikov, A. N. Adaptive Diagnosis Model of Dempster-Shafer Based on Recurrent Neural-Fuzzy Network / A. N. Shabelnikov, S. M. Kovalev, A. V. Sukhanov // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1156. – P. 3-11.

9. Ismagilov, I. I. Formation of a knowledge base to analyze the issue of transport and the environment / I. I. Ismagilov, A. A. Murtazin, D. V. Kataseva [et al.] // Caspian Journal of Environmental Sciences. – 2020. – Vol. 18, № 5. – P. 615-621.

10. Kavalci Yilmaz, E. SUST-DDD: A Real-Drive Dataset for Driver Drowsiness Detection / E. Kavalci Yilmaz, M.A. Akcayol // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2022. – № 31. – P. 416-421.

УДК 656.13/004.94

ПОДХОДЫ К ПРЕОБРАЗОВАНИЮ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В СТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ЗАДАЧ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Мавлиев Л.Ф., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Цифровые дорожные технологии»;
ORCID: 0000-0001-6301-0941;
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru;
Николаева Р.В., к.т.н., доцент кафедры «Цифровые дорожные технологии»;
ORCID: 0000-0002-5324-432x;
E-mail: nikolaeva1@bk.ru;
Комлев К.Е., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;
Богданович С.В., к.т.н., доцент кафедры «Транспортные системы и технологии» Белорусского национального технического университета, г. Минск, Республика Беларусь;
E-mail: bsw001@gmail.com

APPROACHES TO TRANSFORMING TRANSPORT FLOW MONITORING DATA INTO STRUCTURED PARAMETERS FOR SIMULATION MODELING TASKS

Mavliev L.F., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Digital Road Technologies;
ORCID: 0000-0001-6301-0941;
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru;
Nikolaeva R.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Road Technologies;
ORCID: 0000-0002-5324-432x;
E-mail: nikolaeva1@bk.ru;
Komlev K.E., Undergraduate Student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia;
Bogdanovich S.V., candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Transport Systems and Technologies, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus;
E-mail: bsw001@gmail.com

Аннотация

Трансформация транспортного планирования в рамках концепции цифровизации затрагивает все функциональные процессы, включая сбор и обработку данных о транспортных потоках. Одной из ключевых проблем при моделировании транспортных систем остается высокая неопределенность и фрагментарность исходных данных, приводящая к снижению точности прогнозов, ошибкам в оценке загрузки сети и необоснованным проектным решениям. Источниками погрешностей выступают как субъективные факторы (выбор недостаточно релевантного метода сбора данных, ошибки интерпретации), так и объективные особенности источников информации: ограниченная зона охвата детекторов, низкая частота GPS-треков, зависимость видеоаналитики от погодных и световых условий, трудоемкость ручной обработки массивов «сырых» данных. Для транспортного моделирования, где проектные решения требуют учета разномасштабных эффектов (от локальных маневров на перекрестке до межрайонных корреспонденций), актуальность применения сбалансированных методов извлечения параметров транспортных потоков особенно высока. Целью исследования выступает обоснование целесообразности и перспектив систематизации и комбинирования подходов к извлечению параметров транспортных потоков для задач микро- и макромоделирования. В рамках статьи проводится сравнительный анализ применимости различных методов (ручной подсчет, индуктивные петли, радарные системы, компьютерное зрение, GPS/телематика) с учетом специфики целевых характеристик моделей. Результаты исследования вносят вклад в формирование научно обоснованного подхода к выбору и интеграции источников данных при построении транспортных моделей, применимого как в проектной практике, так и в образовательном процессе для подготовки специалистов в области транспортного и территориального планирования.

Ключевые слова: транспортные потоки, источники данных, имитационное моделирование, микро- и макромоделирование, комбинированный подход

Abstract

The transformation of transport planning within the framework of the digitalization concept affects all functional processes, including the collection and processing of data on traffic flows. One of the key problems in modeling transport systems remains the high level of uncertainty and fragmentation of the source data, which leads to reduced forecast accuracy, errors in assessing network load, and unjustified design decisions. Sources of error include both subjective factors (choosing an insufficiently relevant data collection method, interpretation errors) and objective features of information sources: the limited coverage area of detectors, the low frequency of GPS tracks, the dependence of video analytics on weather and lighting conditions, and the labor-intensive nature of manually processing large volumes of "raw" data. For transport modeling, where design solutions require taking into account effects of different scales (from local maneuvers at an intersection to inter-district correspondences), the relevance of using balanced methods for extracting transport flow parameters is particularly high. The aim of the study is to substantiate the feasibility and prospects of systematizing and combining approaches to extracting parameters of transport flows for micro- and macro-modeling tasks. The article provides a comparative analysis of the applicability of various methods (manual counting, inductive loops, radar systems, computer vision, GPS/telematics), taking into account the specifics of the target characteristics of the models. The research results contribute to the development of a scientifically grounded approach to selecting and integrating data sources when building transport models, which is applicable both in project practice and in the educational process for training specialists in the field of transport and territorial planning.

Keywords: transport flows, data sources, simulation modeling, micro- and macro-modeling, combined approach

1. Введение

Современные транспортные системы крупных городов представляют собой сложные динамические образования, отличающиеся высокой интенсивностью движения, многообразием участников дорожного движения и нелинейными взаимодействиями между ними [1]. Устойчивый рост уровня автомобилизации, фиксируемый в последние десятилетия практически во всех регионах мира, обусловливает прогрессирующее усложнение транспортных систем, возрастание загрузки улично-дорожной сети и учащение заторовых ситуаций [2]. Подобные явления сопряжены со значительным экономическим и экологическим ущербом, что актуализирует необходимость решения задач точного прогнозирования транспортной обстановки, оперативного управления транспортными потоками, а также долгосрочного планирования развития транспортной инфраструктуры.

Ключевыми инструментами для решения указанных задач выступают интеллектуальные транспортные системы (ИТС) и методы имитационного моделирования [3]. Согласно данным недавнего аналитического обзора, базирующегося на изучении свыше 60 практических кейсов из 23 стран, процесс создания и применения крупномасштабных моделей дорожного движения, управляемых данными, предполагает последовательную реализацию комплекса этапов – от подготовки исходных данных до калибровки, верификации и практического применения модели [4]. При этом в профессиональной практике нередко фиксируется существенный разрыв между современными научно-методическими разработками и фактически применяемыми специалистами решениями.

Центральной проблемой, существенно осложняющей построение качественных имитационных моделей, является разнородность источников данных мониторинга транспортных потоков. Исходные данные могут формироваться на основе информации, получаемой от видеокамер, индуктивных петель, радарных детекторов, систем ручного учета и GPS-трекеров; при этом каждый тип источника характеризуется собственными особенностями: специфическим форматом представления данных, различной дискретностью измерений, индивидуальными погрешностями и неодинаковой степенью полноты информации [5]. Отсутствие унифицированных подходов к преобразованию первичных (сырых) данных в стандартизированные параметры (такие как интенсивность, скорость, плотность и состав транспортного потока) создает серьезные трудности как на этапе построения моделей, так и в ходе их последующей калибровки и верификации [6].

Целью исследования является систематизация и сравнительный анализ существующих подходов к извлечению параметров транспортных потоков из разнородных источников данных, а также оценка их применимости для задач микро- и макромоделирования транспортных систем.

Задачи исследования:

– осуществить оценку применимости существующих методов извлечения параметров транспортного потока к задачам имитационного моделирования, учитывая специфику источников данных и целевые характеристики моделей;

– провести сравнительный анализ применимости выделенных методов для задач моделирования транспортных систем с оценкой соответствия получаемых параметров требованиям моделей.

2. Материалы и методы

Процесс преобразования данных мониторинга в структурированные параметры для имитационного моделирования может быть представлен в виде общей схемы: «Сырые данные → предобработка → извлечение параметров → агрегация → формат для модели». Каждый из этих этапов сопряжен с определенными техническими и методологическими вызовами [7, 8].

Для задач макромоделирования (например, в рамках динамического распределения потоков) необходимы такие параметры, как:

– интенсивность (количество транспортных средств в единицу времени);

– средняя скорость потока;
– плотность транспортного (количество транспортных средств на единицу длины);
– состав транспортного потока (доли различных классов транспортных средств).

Для задач микромоделирования (например, в VISSIM, SUMO или AIMSUN) требуются существенно более детализированные данные [9]:

– индивидуальные траектории транспортных средств с привязкой ко времени и пространству;
– распределения скоростей;
– межпиковые интервалы и задержки на перекрестках и участках слияния/перестроения.

К данным, используемым для имитационного моделирования, предъявляется ряд требований [10]:

– точность (погрешность измерений не должна превышать допустимых значений для решаемой задачи, обычно 5-10% для интенсивности и 2-5 км/ч для скорости);
– частота обновления (для оперативного моделирования необходимы данные с интервалом не более 1–5 минут, для микромоделирования – с частотой не ниже 1 Гц);
– пространственный охват (данные должны покрывать моделируемую область с достаточной детализацией);
– временная привязка (все измерения должны быть синхронизированы по времени для корректного сопоставления).

В качестве источников данных мониторинга транспортных потоков выступают: ручной подсчет, индуктивные петли, радарные детекторы, системы компьютерного зрения, GPS/телематика.

Ручной подсчет – это натурный метод сбора данных о транспортных потоках, при котором учетчики фиксируют количество и характеристики транспортных средств визуально. Несмотря на развитие автоматизированных систем, метод остается востребованным в проектной и исследовательской практике.

При ручном подсчете как правило, регистрируют: интенсивность движения; состав потока; направления движения; временные интервалы между транспортными средствами (для микромоделирования и анализа пропускной способности). Скорость и плотность потока при чистом ручном учете обычно не измеряют напрямую: скорость определяют отдельными замерами (например, проездом контрольного отрезка), а плотность рассчитывают косвенно.

Преимущества: гибкость, можно адаптировать методику под конкретную задачу; доступность, не требует дорогостоящего оборудования; возможность детальной классификации.

Недостатки и источники ошибок: человеческий фактор; ограниченная производительность; отсутствие непрерывной записи; трудоемкость.

Индуктивные (индукционные) петли – это детекторы транспорта, представляющие собой катушки из провода, уложенные в дорожное полотно. Принцип их работы основан на изменении индуктивности контура при проезде транспортного средства: металл кузова влияет на электромагнитное поле петли, что фиксируется контроллером и преобразуется в данные о транспортном потоке.

Индуктивные петли позволяют получать следующие параметры: интенсивность движения; занятость полосы; состав потока; интервалы между транспортными средствами. Скорость обычно рассчитывают косвенно.

Преимущества: высокая надежность в штатных условиях; хорошая временная детализация; относительно низкая стоимость эксплуатации после установки (по сравнению с видеоаналитикой и радарами); устойчивость к погодным условиям; простота интеграции с системами светофорного управления и АСУДД.

Недостатки и источники погрешностей: невысокая точность классификации транспортных средств; чувствительность к состоянию дорожного покрытия; ограниченная информативность; статичность установки.

Радарные (радиолокационные) детекторы – это бесконтактные устройства, фиксирующие параметры транспортных потоков за счет излучения и приема сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов. В основе их работы лежит эффект Доплера: при отражении волны от движущегося объекта частота сигнала изменяется пропорционально скорости объекта. Современные радарные детекторы могут одновременно охватывать несколько полос движения, устанавливаясь сбоку от проезжей части либо над ней.

Радарные детекторы позволяют получать следующие параметры: скорость каждого транспортного средства; интенсивность движения; состав потока; плотность и интервалы между транспортными средствами; положение на полосе и маневры; остановленные транспортные средства.

Преимущества: прямое измерение скорости. в отличие от косвенных методов (по занятости или парам петель); работа в любых погодных условиях; бесконтактный принцип; широкий охват, один детектор может контролировать до 4-8 полос одновременно; высокая временная детализация; обнаружение неподвижных объектов.

Недостатки и источники погрешностей: сложности классификации на перекрестках и в плотном потоке; чувствительность к углу установки и геометрии участка; влияние помех; ограничения по определению габаритов; стоимость и сложность настройки, по сравнению с индуктивными петлями радарные системы дороже в закупке и требуют квалифицированной калибровки и технического обслуживания.

Системы компьютерного зрения (Computer Vision, CV) в транспортном мониторинге – это программно-аппаратные комплексы, которые анализируют видеопоток с камер и автоматически извлекают структурированные данные о дорожной обстановке. В основе работы лежат алгоритмы детекции, трекинга и классификации объектов (чаще всего – на базе нейросетевых моделей типа YOLO, RetinaNet и др.) с последующей постобработкой траекторий и расчетом параметров потока.

Системы компьютерного зрения фиксируют широкий спектр параметров: интенсивность движения по полосам и направлениям; состав потока с высокой детализацией; скорости транспортных средств; плотность и интервалы; траектории и маневры; поведение уязвимых участников движения: пешеходы, велосипедисты, самокатчики; транспортные события и инциденты.

Преимущества: высокая детализация классификации; возможность анализа маневров и поведения; гибкость развертывания, не требуется вмешательство в дорожное полотно; камеры можно временно устанавливать для разовых обследований или переносить между участками; визуальная верификация данных; поддержка мультиобъектного анализа, одновременно учитываются транспортные средства, пешеходы, велосипеды; масштабируемость.

Недостатки и источники погрешностей: зависимость от условий видимости; чувствительность к калибровке и геометрии; сложность работы в плотном потоке; вычислительная нагрузка, обработка видео в реальном времени требует мощных серверов/видеокарт и стабильной сети; ошибки классификации; ограниченная дальность и угол обзора.

GPS (глобальная система позиционирования) и телематика дают данные о местоположении, скорости и режимах работы транспортных средств за счет спутниковой навигации и передачи телеметрической информации (в том числе с CAN-шины). В транспортном моделировании это не «поточные» данные с фиксированного створа, а индивидуальные треки подвижных объектов, что принципиально меняет логику их использования по сравнению с петлями, радарами и камерами.

GPS/телематические системы в зависимости от оборудования фиксируют: координаты и временные метки (широта, долгота, высота, время); скорость и ускорение, доступны профили скоростей и резкие изменения (торможения, разгоны); маршруты и маневры; состав и назначение транспортных средств; эксплуатационные параметры (при подключении к can-шине): расход топлива, обороты двигателя, нагрузка на оси, режимы работы (движение/простой/

холостой ход); события и инциденты: длительные простои, отклонения от маршрута, резкие маневры, потенциально опасные режимы вождения;

Преимущества: индивидуальные траектории вместо точечных створов; высокая временная детализация треков; покрытие всей сети, а не отдельных сечений; возможность анализа режимов движения и задержек; масштабируемость и низкая стоимость развертывания, не требуется установка оборудования на дороге; гибкость по типам транспортных средств, можно отдельно анализировать автобусы (с учетом остановок), грузовой транспорт (с учетом габаритов и маневренности), такси и т.д.

Недостатки и источники погрешностей: неравномерная плотность покрытия; смещение выборки, данные отражают поведение конкретных категорий тс (автопарк, такси, каршеринг), а не всего потока; погрешность позиционирования; дискретизация по времени; проблемы привязки к дорожной сети (map-matching), без корректного сопоставления треков с графом УДС возникают ошибки отнесения скоростей и задержек к конкретным участкам и перекресткам; отсутствие информации о непрослеживаемых транспортных средствах.

Выбор источника данных для мониторинга транспортных потоков определяется целями моделирования: для макроанализа подходят индуктивные петли и агрегированные GPS-треки, а для детального воспроизведения поведения потока – радары и системы компьютерного зрения.

Ручной подсчет и видеоанализ уместны при разовых обследованиях и ограниченном бюджете, тогда как радарные и телематические данные эффективны для оперативного контроля и оценки задержек.

Оптимальный вариант подбирают с учетом нужной детализации, точности параметров и специфики решаемой задачи.

3. Результаты и обсуждение

Данные мониторинга транспортных потоков служат основой для принятия решений в территориальном и транспортном планировании: с их помощью оценивают загрузку улично-дорожной сети, выявляют узкие места, проектируют новые объекты и настраивают режимы регулирования движения.

Для получения таких данных применяют разные методы, от ручного подсчета и индуктивных петель до радарных систем, компьютерного зрения и GPS-телематики, каждый из которых дает свой набор параметров (интенсивность, скорость, состав потока, траектории) и отличается по точности, охвату и условиям применения.

На базе собранных данных строят имитационные, макро- и микромодели (например, в VISSIM, SUMO, AIMSUN), которые позволяют прогнозировать эффекты проектных решений, калибровать параметры движения и обосновывать варианты развития транспортной инфраструктуры.

Сравнительный анализ методов, применяемых для получения данных для территориального и транспортного планирования представлен в табл. 1.

В табл. 1 каждый методов, применяемый для получения данных для территориального и транспортного планирования оценивается по одиннадцати ключевым критериям, значимым для задач имитационного моделирования.

Анализ таблицы показывает, что ни один из источников не является универсальным, каждый подход имеет свои сильные и слабые стороны. Выбор источника данных мониторинга транспортных потоков напрямую зависит от задач моделирования:

– макромоделирование (оценка загрузки сети, распределение потоков) подходят индуктивные петли и агрегированные данные GPS/телематики: дают устойчивые срезы интенсивности и средние скорости по сечениям, достаточные для расчета баланса потоков;

– микромоделирование (поведение на перекрестках, маневры, безопасность) лучше использовать радарные детекторы (точные скорости, интервалы) и системы компьютерного зрения (траектории, маневры, классификация транспортных средств);

– калибровка по времени в пути и задержкам, для них оптимальны GPS/телематические треки: позволяют оценивать реальные времена проезда на протяженных маршрутах и задержки на остановках и перекрестках;

– оперативное управление и детекция инцидентов (заторы, ДТП) эффективны радарные детекторы и компьютерное зрение: фиксируют остановки и аномальное поведение потока;

– разовые обследования и пилотные замеры при ограниченном бюджете, для них применим ручной подсчет и анализ видеозаписей: дают гибкую детализацию без капитальных вложений.

Таблица 1

Сравнительный анализ подходов к сбору данных мониторинга транспортных потоков

№ п/п	Критерий	Ручной подсчет	Индуктивные петли	Радарные детекторы	Компьютерное зрение	GPS/ телематика
1	Точность интенсивности	Средняя (±10–15%)	Высокая (>98%)	Высокая (>95%)	Высокая (>95%)	Низкая–средняя (зависит от доли охвата)
2	Точность скорости	Нет	Высокая (±2–5 км/ч)	Очень высокая (±1–3 км/ч)	Высокая	Средняя (±5–10 км/ч)
3	Полнота (траектории)	Нет	Нет	Нет	Да (индивидуальные)	Частично
4	Классификация транспортных средств	Грубая	Высокая (до 99,8%)	Средняя (~75%)	Высокая (mAP 0,93)	Нет
5	Пространственный охват	Точечный	Точечный	Точечный–секторный	Широкий (перекресток, участок)	Глобальный (вся сеть)
6	Частота обновления	Ручная (эпизодическая)	Непрерывная (1 Гц+)	Непрерывная (10–100 Гц)	Непрерывная (10–30 fps)	Эпизодическая (1–30 с)
7	Влияние погоды/освещения	Не зависит	Не зависит	Не зависит	Сильное	Не зависит
8	Стоимость внедрения	Низкая	Высокая	Средняя–высокая	Средняя	Средняя
9	Сложность обработки	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Средняя
10	Пригодность для микромоделирования	Нет	Нет	Нет	Да	Частично (низкая точность)
11	Пригодность для макромоделирования	Ограниченно	Да	Да	Да	Да

Наиболее перспективную стратегию представляет собой Комбинированный подход. Комбинированный подход – это одновременное использование нескольких методов сбора данных о транспортных потоках (например, радар + камера, индуктивные петли + GPS-треки), чтобы компенсировать недостатки отдельных технологий и получить более полную и надежную картину движения.

4. Заключение

1. Нет универсального источника данных: каждый метод (ручной подсчет, индуктивные петли, радары, компьютерное зрение, GPS/телематика) имеет свою область эффективного применения – выбор определяется целями моделирования, требуемой детализацией и условиями эксплуатации.

2. Для разных уровней моделирования нужны разные типы данных: макромоделирование опирается на агрегированные показатели интенсивности и средние скорости (оптимально – петли и телематика), а микромоделирование требует детальных траекторий, маневров и распределений скоростей (лучше всего подходят радары и видеоаналитика).

3. Качество результатов моделирования напрямую зависит от корректности преобразования «сырых» данных в структурированные параметры: критически важны предобработка (фильтрация выбросов, устранение пропусков), калибровка (например, геометрическая для видео или map-matching для GPS) и проверка согласованности данных (баланс потоков, соответствие нормативам точности).

4. Наиболее надежные результаты дает комбинированный подход: например, радар обеспечивает точные скорости, а видео – надежную классификацию ТС; телематика дает реальные времена в пути, а петли – стабильные срезы интенсивности на ключевых створах. Такая интеграция компенсирует слабые стороны отдельных методов.

Список литературы

1. Николаева, Р. В. Применение имитационного моделирования при организации дорожного движения на перекрестке улично-дорожной сети / Р. В. Николаева, А. П. Костин // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2025. – № 1 (9). – С. 155-163. – EDN TJIHFC.

2. Bochenina K., Agriesti S., Roncoli C., Ruotsalainen L. From Urban Data to City-Scale Models: A Review of Traffic Simulation Case Studies. *IET Intelligent Transport Systems*. 2025; 19, № 1: P. 70021. DOI: 10.1049/itr2.70021 (in Great Britain).

3. Zhang F., et al. A Map-Matching Algorithm With Extraction of Multi-Group Information for Low-Frequency Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2026; 27, № 2: P. 1234–1245 (in USA).

4. Минниханов, Р. Н. Развитие Единой платформы управления транспортной системой в Республике Татарстан / Р. Н. Минниханов, И. В. Аникин, М. В. Дагаева, С. С. Кильдеева // Международный форум Kazan Digital Week – 2025 : Сборник материалов, Казань, 17–19 сентября 2025 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, – 2025. – С. 124-129. – EDN WTXCNQ.

5. Ванюшев, А. А. Адаптивные сверточные нейронные сети в интеллектуальных транспортных системах / А. А. Ванюшев, В. В. Мокшин, Л. Ф. Мавлиев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – № 2 (72). – С. 277-290. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/72.25. – EDN PMWDDV.

6. Комарова, Т. К. Математическое моделирование движения автомобилей и пешеходов на нерегулируемых примыканиях / Т. К. Комарова // Наука и транспорт. – 2023. – № 3. – С. 163-170. _2023_3_163. – DOI: 10.52409/20731523.

7. Мартяхин, Д. С. Разработка метода оценки уровня удобства движения при движении на автомобиле / Д. С. Мартяхин, С. В. Овчинников, Т. К. Комарова [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – № 4 (74). – С. 229-238. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/74.20. – EDN SZTIHU.

8. Abdelsalam M., Ashmawi A., Phuong N. AI-Driven Automation of Construction Cost Estimation: Integrating BIM with Large Language Models. *Buildings*. 2026; Vol. 16: P. 485. https://doi.org/10.3390/buildings16030485.

9. Минниханов, Р. Н. Интеграция подсистемы видеонаблюдения в единую платформу управления транспортной системой: технологии и реализация / Р. Н. Минниханов, И. В. Аникин, И. Р. Фарахов [и др.] // Вестник НЦБЖД. – 2024. – № 3 (61). – С. 58-64. – EDN YTAJWL.

10. Хыдыров, Р. Б. Оптимизация процесса принятия решений в нечеткой модели управления дорожным движением / Р. Б. Хыдыров, А. С. Хаджиева, О. Г. Язмурадова, А. М. Бегмаммедов // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2025. – № 3 (11). – С. 83-91. – EDN ISRJVQ.

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПАРКОВОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА КАЗАНИ

Минниханов Р.Н., д.т.н., профессор, президент Академии наук Республики Татарстан, директор ГБУ «Безопасность дорожного движения»;
ORCID: 0000-0001-9166-2955;
Катасёв А.С., д.т.н., профессор кафедры систем информационной безопасности;
ORCID: 0000-0002-9446-0491;
Фахразиев Р.И., магистрант кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-3463-7663

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A DIGITAL TWIN OF THE KAZAN CITY PARKING SPACE

Minnikhanov R.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, President of Tatarstan Academy of Sciences, Director of the SBI «Road Safety»;
ORCID: 0000-0001-9166-2955;
Katasev A.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the information security systems department;
ORCID: 0000-0002-9446-0491;
Fakhraziev R.I., Master's student of the Department of Information Security Systems of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI; Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-3463-7663

Аннотация

Статья посвящена разработке цифрового двойника парковочного пространства города Казани. Обоснована низкая эффективность традиционных мер (платные зоны, многоуровневые парковки, тарифная индексация). Предложен альтернативный подход, основанный на оптимизации использования существующей инфраструктуры с помощью прогнозного и сценарного моделирования заполняемости парковочных мест. Представлена микросервисная архитектура системы. Описаны функциональные возможности клиентской части: визуализация парковочных зон и объектов инфраструктуры, фильтрация данных, построение аналитических графиков загрузки парковок, создание и редактирование сценариев (изменение вместимости, стоимости, добавление новых объектов), а также сравнение базового и модельного состояний. Особое внимание уделено механизму прогнозирования, который работает асинхронно через очередь сообщений, не нагружая основной сервер. Приведены примеры визуализации результатов моделирования: графики занятости во времени, распределения уровня загрузки и длительности стоянок. Разработанный цифровой двойник может использоваться

как эффективный инструмент поддержки принятия управленческих решений, позволяющий оценивать последствия изменений парковочных зон до их внедрения.

Ключевые слова: цифровой двойник, парковочное пространство, сценарное моделирование, прогнозирование заполняемости парковок.

Abstract

This article explores the development of a digital twin of Kazan's parking space. The low efficiency of traditional measures (paid zones, multi-level parking, and tariff indexation) is substantiated. An alternative approach is proposed, based on optimizing the use of existing infrastructure through predictive and scenario modeling of parking space occupancy. A microservice architecture is presented. The client-side functionality is described, including visualization of parking zones and infrastructure facilities, data filtering, construction of analytical parking occupancy graphs, creation and editing of scenarios (changing capacity, cost, adding new facilities), and comparison of baseline and simulated states. Particular attention is paid to the forecasting mechanism, which operates asynchronously via a message queue, minimizing the load on the main server. Examples of visualization of the simulation results are provided: occupancy graphs over time, load level distribution, and parking duration. The developed digital twin can be used as an effective tool for supporting management decision-making, enabling the assessment of the consequences of changes to parking zones before their implementation.

Keywords: digital twin, parking space, scenario modeling, parking occupancy forecasting.

Введение

В современном мире парковочное пространство испытывает высокие нагрузки в транспортной инфраструктуре больших городов [1]. Стремительные темпы урбанизации и сопутствующий им рост числа личного автотранспорта формируют дефицит парковочных мест в городах, что, в свою очередь, приводит к повышению загрузки улично-дорожной сети, ухудшению экологической обстановки, ограничению транспортной мобильности населения и в целом негативно отражается на комфортности городской среды.

Традиционные меры регулирования в этой области (организация платных парковочных зон, возведение многоуровневых парковок, индексация тарифов) приводят к ограниченной эффективности и не позволяют достичь системного решения этой проблемы [2]. При этом наращивание парковочных мощностей сопряжено со значительными финансовыми затратами, а повышение стоимости парковки способно вызвать социальную напряженность.

Для решения этой проблемы целесообразно выполнять оптимизацию использования уже существующих парковочных пространств [3], а также разработку и применение прогнозных моделей [4] на базе цифрового двойника парковочного пространства [5].

Разработка цифрового двойника

Цифровой двойник парковочного пространства реализован в виде веб-приложения. Интерфейс этого приложения реализован на языке программирования TypeScript с использованием библиотеки React [6]. Взаимодействие с серверной частью организовано через HTTP-запросы к REST API. Запросы выполняются с помощью библиотеки axios, а управление состоянием асинхронных данных может осуществляться через react-query. Это упрощает обработку загрузки данных, ошибок, повторных запросов и обновления информации на странице. Все внешние обращения проходят через обратный прокси-сервер Nginx, который перенаправляет запросы к клиентскому приложению и серверному API.

Для отображения пространственных данных используется библиотека mapbox-gl [7]. Она позволяет визуализировать парковочные зоны, отдельные парковки и объекты городской инфраструктуры на интерактивной карте. Данные передаются с серверной части в формате GeoJSON, что упрощает отображение географических объектов и работу со слоями карты. Для построения аналитических графиков используется библиотека ECharts [8], с помощью которой отображается динамика загруженности парковок и результаты прогнозирования. Состоя-

ние клиентского приложения управляется через библиотеку MobX [9], которая позволяет разделить данные интерфейса по разным хранилищам, например, состояние карты, выбранные слои, парковок, точки интереса и т.д.

Клиентская часть состоит из четырех страниц: страницы с интерактивной картой, страницы сценарного моделирования, страницы просмотра сохраненных сценариев и страницы загрузки данных. Страница с интерактивной картой является главным экраном приложения и предназначена для визуального анализа парковочного пространства. На ней представлено четыре отдельных слоя объектов: парковочные зоны, парковки, паркоматы и точки интереса. Эти данные получаются из основного backend-сервиса.

На рис. 1 показан пример страницы с интерактивной картой.

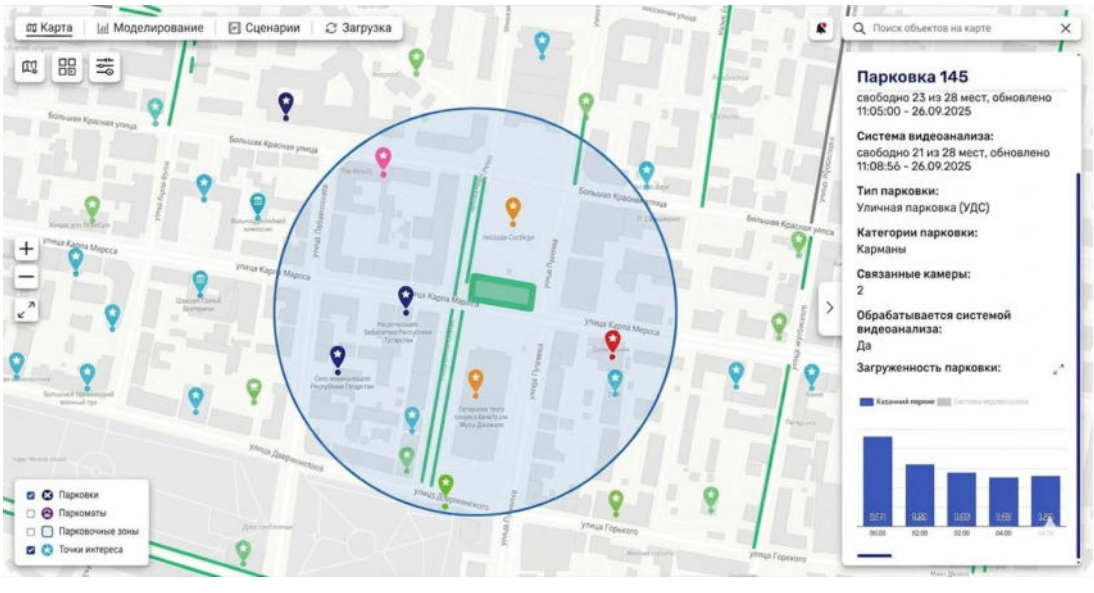


Рис. 1. Страница с интерактивной картой цифрового двойника

Для управления отображением данных на карте дополнительно реализована легенда, с помощью которой пользователь может включать и отключать отдельные слои. Также предусмотрена фильтрация объектов, например, по уровню занятости или типу парковки. Каждый объект на карте является кликабельным. При нажатии на него открывается отдельное информационное окно с его подробными характеристиками.

На рис. 2 показан пример страницы сценарного моделирования.

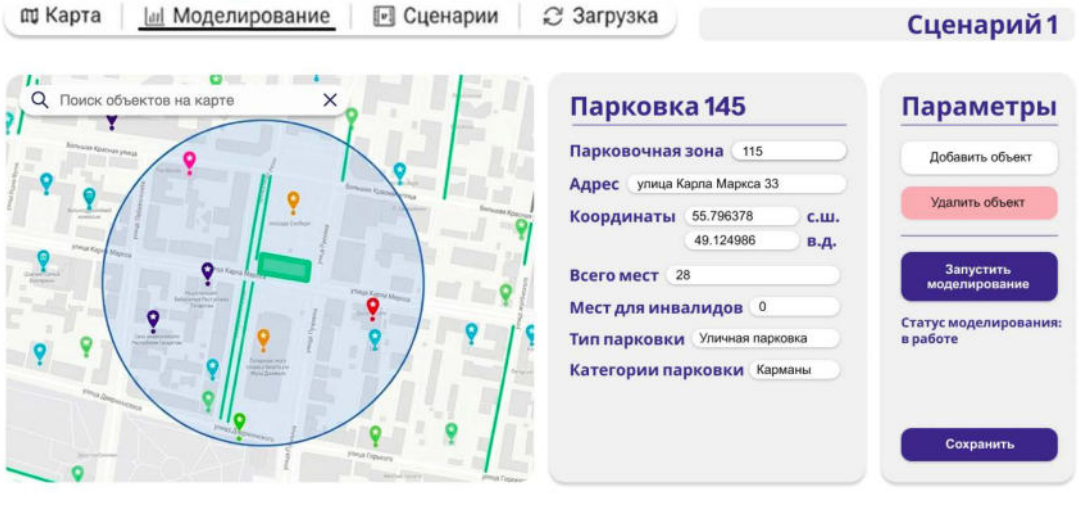


Рис. 2. Страница сценарного моделирования цифрового двойника

Каждый сценарий можно по очереди открыть и сравнить, как в разных случаях меняется прогнозируемая загрузка парковок. Благодаря этому система помогает заранее оценить возможные управленческие решения и выбрать наиболее подходящий вариант развития парковочной инфраструктуры.

На рис. 3 показан пример окна просмотра сохраненных сценариев.

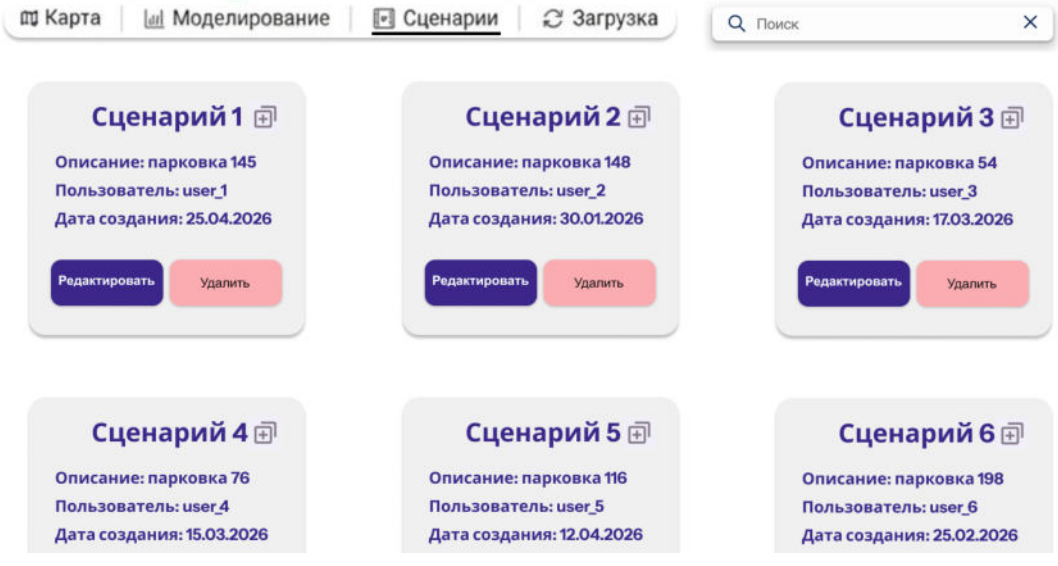


Рис. 3. Страница просмотра сохраненных сценариев

Страница загрузки данных нужна для обновления информации, с которой работает цифровой двойник. На ней пользователь может запустить обновление данных о парковках и объектах городской инфраструктуры. В интерфейсе есть две основные кнопки: одна запускает загрузку данных о парковочном пространстве, другая – загрузку данных об объектах инфраструктуры. После запуска система показывает текущий статус задачи, поэтому пользователь может следить за ходом обновления. Загрузка выполняется в фоновом режиме, поэтому пользователь может продолжать с ним работать. Когда задача завершается, обновленные данные сохраняются в базе данных. После этого они становятся доступны для отображения на карте, построения прогнозов и сценарного моделирования.

Таким образом, клиентская часть обеспечивает визуальное и интерактивное взаимодействие пользователя с цифровым двойником. Она позволяет отображать парковочное пространство на карте, анализировать отдельные объекты, строить графики загрузки, изменять параметры системы, запускать сценарное моделирование и работать с сохраненными сценариями.

Реализация сценарного моделирования

Сценарное моделирование в цифровом двойнике реализовано как работа с измененной копией парковочного пространства. Пользователь может создавать новые сценарии, менять в них параметры парковочных зон, добавлять новые парковки или объекты городской инфраструктуры, а система выполняет расчет прогноза уже для измененного состояния.

В качестве примера работы цифрового двойника рассмотрен сценарий изменения параметров парковочного пространства в выбранной части города. Сначала система отображает базовое состояние: существующие парковки, их текущую загрузку и расположенные рядом объекты городской инфраструктуры. Затем пользователь вносит изменение в модель, например добавляет новую парковочную зону, изменяет вместимость существующей парковки или добавляет объект городской инфраструктуры, влияющий на спрос. После этого система пересчитывает пространственные признаки, запускает прогнозирование и отображает результат сценарного расчета.

Результаты сценарного моделирования позволяют увидеть, как изменилось прогнозируемое состояние парковочного пространства после внесения изменений. На карте пользователь может сравнить базовый и измененный вариант, определить парковочные зоны, для которых изменилась ожидаемая загрузка, а также оценить, насколько выбранное изменение влияет на распределение нагрузки между парковками. Такое представление удобно тем, что результат моделирования отображается не только в виде чисел, но и в пространственном контексте.

Для более подробного анализа в системе реализована визуализация статистических графиков. Они используются как для анализа отдельной парковки, так и для сравнения базового и сценарного состояний. Первый тип графиков показывает изменение количества свободных и занятых парковочных мест во времени. Такой график позволяет увидеть, в какие периоды парковка наиболее загружена, когда наблюдается снижение спроса и как меняется занятость в течение выбранного временного интервала. При наличии прогноза на этом же графике могут отображаться фактические и прогнозируемые значения, что позволяет визуально оценить качество расчета.

На рис. 4 показан пример графика первого типа.

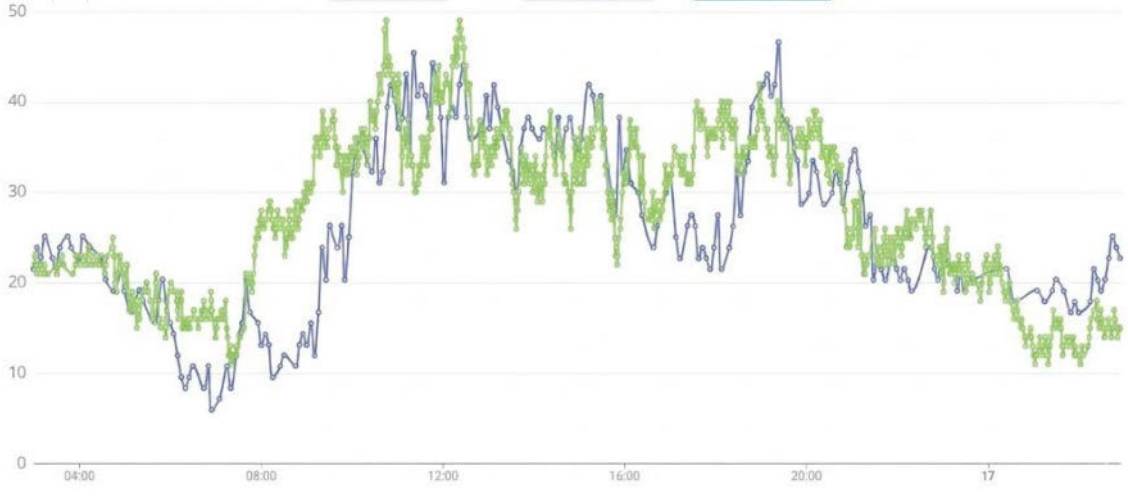


Рис. 4. Пример зависимости количества свободных и занятых парковочных мест от времени

Второй тип графиков используется для анализа уровня загруженности парковки (рис. 5).

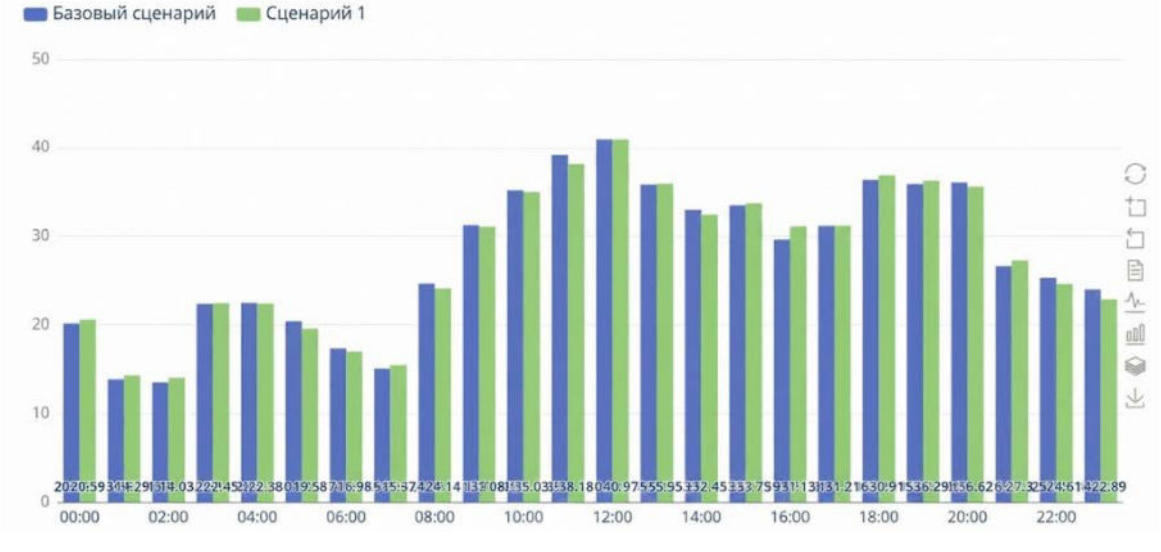


Рис. 5. Пример распределения загруженности парковки

Третий тип графиков показывает длительность использования парковочных мест (рис. 6).

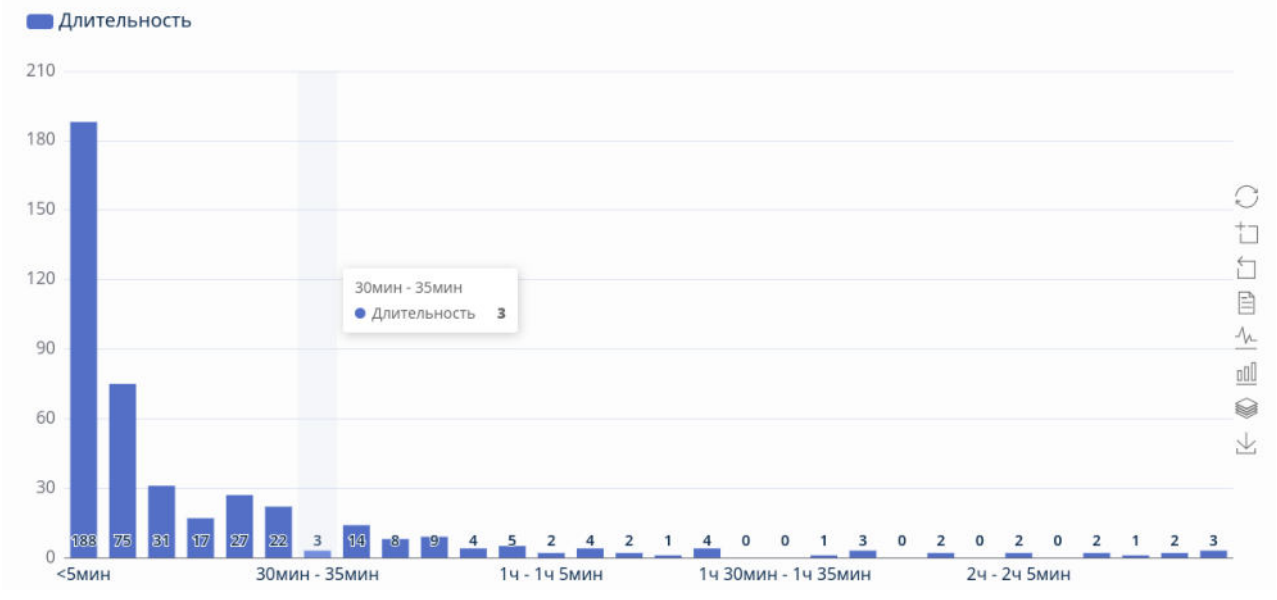


Рис. 6. Пример распределения длительности стоянки

Таким образом, механизмы сценарного моделирования позволяют использовать цифровой двойник не только для отображения текущего состояния парковок, но и для анализа возможных изменений.

Заключение

Разработан цифровой двойник парковочного пространства города Казани. Для его разработки использованы данные о парковках, их загруженности и объектах городской инфраструктуры. Цифровой двойник позволяет отображать текущее состояние парковочного пространства, анализировать загруженность парковок, строить прогнозы загруженности и анализировать последствия изменений параметров парковочной системы.

Таким образом, разработанный цифровой двойник объединяет функции анализа данных, прогнозирования и сценарного моделирования. Он может использоваться как инструмент поддержки принятия решений при управлении городской парковочной инфраструктурой и служить основой для дальнейшего развития интеллектуальных транспортных систем [10].

Список литературы

1. Votinov, M. Problems of transport formation and pedestrian infrastructure of a largest city in the XXI century / M. Votinov // Municipal economy of cities. – 2020. – Vol. 4, № 157. – P. 44-48.

2. Клеблеев, Ш. А. Умная парковка для развития региона / Ш. А. Клеблеев // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 8 (146). – С. 94-96.

3. Жиронкин, Д. Д. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России / Д. Д. Жиронкин, Д. А. Беляев // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 1. – С. 341-344.

4. Минниханов, Р. Н. Использование модели случайного леса для прогнозирования заполняемости парковок в городских агломерациях / Р. Н. Минниханов, Т. Р. Баторшин, Р. М. Габбазов, Р. И. Фахразиев, А. С. Катасёв, М. В. Дагаева // Вестник НЦБЖД. – 2025. – № 3. – С. 112-117.

5. Минниханов, Р. Н. Цифровой двойник парковочного пространства / Р. Н. Минниханов, Т. Р. Баторшин, Р. М. Габбазов, Р. И. Фахразиев, А. С. Катасёв, М. В. Дагаева, И. Р. Бадрутдинов // Электронные библиотеки. – 2025. – Т. 28. № 4. – С. 884-902.

6. Aprian, S. Pengembangan Sistem Manajemen Digital Organisasi HIKMA Berbasis React TypeScript / S. Aprian // RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business. – 2025. – Vol. 4, No. 2. – P. 7209-7218.

7. Wicaksono, B. Integration and Geographic Visualization of TKA-TPA Data Using Mapbox / B. Wicaksono, A. Asroni, A. Setiawan // Emerging Information Science and Technology. – 2022. – Vol. 1, № 4. – P. 149-154.

8. Shen, L. Application of Lightweight Freshmen Group Portrait Based on Echarts / L. Shen // Journal of Electrical Systems. – 2024. – Vol. 20, № 4s. – P. 178-199.

9. Sehgal, Ja. A Comparative Study of State Management Libraries: Redux, MobX, Recoil, and Zustand / Ja. Sehgal, A. Yadhav // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2023. – Vol. 11, № 9. – P. 432-438.

10. Минниханов, Р. Н. Стратегия развития интеллектуальных транспортных систем в г. Казани / Р. Н. Минниханов, Л. Б. Шигин // Вестник НЦБЖД. – 2013. – № 1. – С. 18-21.

УДК 625.7/.8:004

АВТОМАТИЗАЦИЯ СМЕТНОГО ДЕЛА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Низамов Р.К., д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», академик-секретарь отделения математики, механики и машиноведения, действительный член Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0002-3448-7369;
E-mail: Nizamov@kgasu.ru;
Мавлиев Л.Ф.., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Цифровые дорожные технологии»;
ORCID: 0000-0001-6301-0941;
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru;
Николаева Р.В., к.т.н., доцент кафедры «Цифровые дорожные технологии»;
ORCID: 0000-0002-5324-432x;
E-mail: nikolaeva1@bk.ru;
Мирсияпова Д.Р., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия

AUTOMATION OF COST ESTIMATES IN ROAD CONSTRUCTION: MODERN APPROACHES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Nizamov R.K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Kazan State University of Architecture and Engineering; Academician-Secretary of the Department of Mathematics, Mechanics and Machine Science, Full Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0002-3448-7369;
E-mail: Nizamov@kgasu.ru;
Mavliev L.F., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Digital Road Technologies;
ORCID: 0000-0001-6301-0941;
E-mail: lenarmavliev@yandex.ru;
Nikolaeva R.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Road Technologies;
E-mail: nikolaeva1@bk.ru;
ORCID: 0000-0002-5324-432x;
Mirsiyapova D.R., Undergraduate Student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

Аннотация

Трансформация строительной отрасли в рамках концепции цифровизации затрагивает все функциональные процессы, включая сметное дело. Одной из ключевых проблем в дорожном строительстве остается высокая доля ошибок в сметной документации, приводящая к перерасходу бюджетных средств, задержкам сроков и сложностям при прохождении экспертизы. Источниками погрешностей выступают как субъективные факторы (опыт и внимательность сметчика), так и объективные особенности традиционных методов расчета: ручной сбор объемов, актуализация цен по разрозненным источникам, трудоемкость пересчета при изменениях проекта. Для дорожного строительства, где проектные решения характеризуются высокой динамикой (корректировки трассы, изменение отметок, пересмотр типов дорожной одежды), актуальность внедрения автоматизированных инструментов расчета стоимости особенно высока. Целью исследования выступает обоснование целесообразности и перспектив автоматизации сметного дела в дорожном строительстве. В рамках статьи проводится сравнительный анализ традиционного и автоматизированного подходов к составлению смет. Определены ключевые препятствия для внедрения цифровых инструментов в сметное дело. Результаты исследования вносят вклад в формирование научно обоснованного подхода к цифровой трансформации сметного дела в строительной отрасли.

Ключевые слова: дорожное строительство, сметное дело, автоматизация, цифровизация строительства, эффективность

Abstract

The transformation of the construction industry within the framework of the digitalization concept affects all functional processes, including cost accounting. One of the key problems in road construction remains the high proportion of errors in the cost documentation, which leads to budget overspending, delays in deadlines, and difficulties in passing the examination. The sources of errors include both subjective factors (the experience and attentiveness of the cost accountant) and objective features of traditional calculation methods: manual collection of volumes, updating prices based on disparate sources, and the complexity of recalculating changes in the project. For road construction, where design solutions are characterized by high dynamics (route adjustments, changes in elevation, and revision of road pavement types), the relevance of implementing automated cost calculation tools is particularly high. The purpose of this study is to justify the feasibility and prospects of automating cost estimation in road construction. The article provides a comparative analysis of traditional and automated approaches to cost estimation. Key obstacles to the implementation of digital tools in cost estimation have been identified. The results of this study contribute to the development of a scientifically grounded approach to the digital transformation of cost estimation in the construction industry.

Keywords: road construction, cost estimation, automation, digitalization of construction, efficiency

1. Введение

Строительство автомобильных дорог выступает ключевым элементом инфраструктурного комплекса России, от его развития напрямую зависят транспортная доступность регионов, эффективность грузоперевозок и социально-экономическое благополучие страны [1-2]. При этом реализация дорожных проектов сопряжена со значительными финансовыми затратами: в рамках национальных проектов ежегодно осваиваются значительные бюджетные средства. В связи с этим, особую актуальность приобретает внедрение передовых технологий на ранних стадиях проектного цикла, которые позволяют обеспечить точное и прозрачное определение сметной стоимости строительства и тем самым повысить эффективность расходования ресурсов [3].

Сегодня составление смет традиционным методом остается крайне трудозатратным процессом. Под традиционным методом подразумевают подход, при котором смета формируется преимущественно вручную либо с применением инструментов без интеграции с цифровыми моделями и автоматизированными системами. Такой подход требует значительных временных ресурсов, сильно зависит от человеческого фактора, не позволяет оперативно пересчитывать варианты сметы, а также несет высокий риск ошибок из-за ручного ввода данных. В условиях дорожного строительства эти недостатки особенно критичны: объекты отличаются большой протяженностью, а стоимость работ необходимо корректировать с учетом региональных факторов ценообразования [4]. Из-за этого применение традиционных методов нередко приводит к существенным финансовым погрешностям.

Основной путь решения проблем традиционного подхода – это переход на ресурсно-индексный метод (РИМ). РИМ сочетает в себе два подхода: часть затрат считают в базисном уровне цен, а затем с помощью индексов переводят в текущий; другая часть в актуальных ценах. Ключевой момент: индексы применяют по группам однородных ресурсов (например, отдельно для материалов, отдельно для оплаты труда или эксплуатации машин), а не ко всей смете целиком. Это позволяет гибко реагировать на рыночные колебания: если подорожали только определенные материалы, в смете это отразится точечно. В результате расчеты становятся гораздо точнее, прозрачнее и устойчивее к замечаниям при экспертизе.

Формирование смет сегодня невозможно представить без автоматизированных инструментов: используются BIM-технологии, сметные программные комплексы, облачные сервисы и аналитические системы на базе искусственного интеллекта [6, 7].

В последние годы в практике хозяйствующих субъектов наблюдается активное внедрение специализированных средств автоматизации сметного учета, направленных на повышение точности расчетов, сокращение трудозатрат и обеспечение прозрачности формирования сметной стоимости [8]. Так в 2023 году Группа компаний ФСК (крупный российский девелопер и инвестиционно-строительная компания) вместе с IT-компанией Spacecode реализовал проект по внедрению корпоративного API-сервиса на базе искусственного интеллекта для автоматизации сметного учета. Внедрению данного проекта способствовало увеличение нагрузки: проектов становилось больше, подключалось все больше подрядчиков. Из-за этого сильно увеличились трудозатраты на рутинные задачи. Сметчикам приходилось вручную разбирать текстовые описания видов работ и сопоставлять их с внутренним классификатором компании. Это монотонная работа, где легко допустить ошибку. Руководство решило цифровизировать процесс, чтобы не расширять штат и ускорить работу. В итоге удалось добиться большей прозрачности сметного учета, ускорить подготовку и согласование документов, а также создать базу для масштабирования процессов без роста штата [9].

Целью работы является обоснование целесообразности и перспектив автоматизации сметного дела в дорожном строительстве.

Задачи исследования:

1) сравнительный анализ традиционного и автоматизированного подходов к составлению смет;

2) определить ключевые препятствия для внедрения цифровых инструментов в сметное дело.

2. Материалы и методы

Полноценная реализация ресурсно-индексного метода и эффективное управление стоимостью невозможны без перехода на новый уровень проектирования, основанный на цифровых технологиях. Именно поэтому, согласно постановлению Правительства РФ № 331, применение технологий информационного моделирования стало обязательным для большинства объектов госзаказа. Современные тенденции развития автоматизации сметного дела включают интеграцию с BIM-технологиями и создание единых информационных систем.

В современной практике сметного нормирования широко применяются автоматизированные средства расчета сметной стоимости, обеспечивающие повышение оперативности формирования документации, минимизацию ошибок, обусловленных человеческим фактором, и обеспечение прослеживаемости расчетных процедур [10]. К числу наиболее распространенных средств автоматизации сметных расчетов относятся:

– специализированные сметные программные комплексы (например, «ГРАНД-Смета», SmetaWIZARD, Smeta.RU, «ГОССТРОЙСМЕТА», «1С:Смета»);

– BIM-платформы и инструменты 5D-моделирования (включая решения на базе Autodesk Revit, Renga и др.);

– API-сервисы и модули на базе технологий искусственного интеллекта и машинного обучения;

– облачные платформы и системы электронного документооборота;

– инструменты интеграции и конвертации данных (коннекторы между CAD-системами, BIM-моделями и сметными программами, трансляторы форматов, средства валидации данных).

Применение указанных средств формирует многоуровневую систему автоматизации сметного процесса: от первичного извлечения данных до финального формирования и согласования сметной документации, что соответствует современным тенденциям цифровизации инвестиционно-строительной деятельности.

3. Результаты и обсуждение

Одной из ключевых проблем в дорожном строительстве остается высокая доля ошибок в сметной документации, приводящая к перерасходу бюджетных средств, задержкам сроков и сложностям при прохождении экспертизы. Источниками погрешностей выступают как субъективные факторы (опыт и внимательность сметчика), так и объективные особенности традиционных методов расчета: ручной сбор объемов, актуализация цен по разрозненным источникам, трудоемкость пересчета при изменениях проекта.

Автоматизированные системы сметного расчета предлагают комплекс решений для снижения этих рисков: от автоматической генерации объемов из цифровой модели до прямой интеграции с ФГИС ЦС. Переход к таким инструментам требует переосмысления роли сметчика и адаптации организационных процессов. Потенциальный эффект в виде повышения точности и сокращения сроков делает эту трансформацию экономически обоснованной.

Для выявления преимуществ и ограничений обоих подходов проведен сравнительный анализ по ряду критериев, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ традиционного и автоматизированного подходов к составлению смет в дорожном строительстве

№ п/п	Критерий оценки	Традиционный подход	Автоматизированный подход
1	Сбор данных о физических объемах работ	Определение объемов выполняется вручную по проектной документации (чертежи, ведомости, продольные/поперечные профили). Высока вероятность пропуска конструктивных элементов (например, укрепительных работ, водоотводных лотков) и ошибок при суммировании.	Объемы автоматически генерируются и выгружаются из цифровой модели объекта (BIM/CAD), включая все конструктивные слои дорожной одежды, земляное полотно, обустройство. Обеспечивается сквозной учет элементов и контроль полноты номенклатуры.

Окончание табл. 1

№ п/п	Критерий оценки	Традиционный подход	Автоматизированный подход
2	Выбор сметных нормативов и расценок	Подбор расценок осуществляется инженером-сметчиком вручную на основании опыта, справочников и локальных баз. Риск некорректного выбора (несоответствие технологии, региона, состава работ) остается высоким.	Автоматизированный подбор расценок с применением алгоритмов обработки естественного языка и семантического сопоставления состава работ. Система сопоставляет описание конструктива с базой нормативов и предлагает релевантные расценки с указанием степени соответствия.
3	Актуализация текущей стоимости ресурсов и индексов	Ручной поиск прайс-листов поставщиков, выборочная проверка цен, ручной ввод индексов пересчета. Данные могут быть неактуальными на момент расчета.	Прямая API-интеграция с ФГИС ЦС и иными официальными источниками. Автоматическая загрузка актуальных отпускных цен, индексов изменения сметной стоимости, транспортных и заготовительно-складских расходов.
4	Перерасчет стоимости при изменениях в проекте	При корректировке проектных решений (изменение трассы, отметок, типов конструкций) требуется повторное прохождение всего цикла расчетов, что трудоемко и увеличивает сроки.	Мгновенный автоматический перерасчет сметной стоимости при изменении геометрии трассы или конструктивных решений в CAD/BIM-модели. Изменения каскадно отражаются на всех связанных позициях сметы.
5	Уровень погрешностей и влияние человеческого фактора	Высокий уровень погрешностей: опечатки, ошибки в формулах, неверный выбор региональной расценки, пропуски коэффициентов. Контроль требует значительных трудозатрат.	Минимальный уровень погрешностей за счет формализованных алгоритмов расчета, встроенных проверок на соответствие нормативам и автоматического контроля целостности данных. Человеческий фактор сводится к валидации результатов, а не к выполнению расчетов.
6	Сроки подготовки сметной документации	Значительные временные затраты (от нескольких дней до недель в зависимости от масштаба объекта), обусловленные ручным характером операций.	Существенное сокращение сроков (до нескольких часов на типовые участки) за счет автоматизации рутинных операций и параллельной обработки данных.
7	Требования к квалификации персонала и распределение ролей	Ключевая роль инженера-сметчика, требующая глубоких знаний нормативов, технологий и региональных особенностей; высокая зависимость результата от индивидуального опыта.	Смещение акцента с выполнения расчетов на управление данными и валидацию результатов; необходимы компетенции в работе с цифровыми инструментами, понимании логики алгоритмов и контроле качества входных данных.

На основании проведенного сравнительного анализа можно отметить существенное повышение точности сметных расчетов при использовании автоматизированных методов, что обусловлено минимизацией человеческого фактора, применением формализованных алгоритмов и встроенных механизмов контроля соответствия нормативам. В дорожном строительстве, где объемы работ и номенклатура конструктивных слоев велики, это позволяет избежать значительных ошибок в определении стоимости. Экономический эффект от внедрения автоматизированных решений складывается из нескольких составляющих: снижения рисков перерасхода средств из-за ошибок в сметах, сокращения трудозатрат на подготовку и корректировку документации, ускорения согласования смет и повышения предсказуемости бюджета проекта. При этом следует учитывать капитальные и операционные затраты на внедрение и сопровождение цифровых инструментов.

При этом важно отметить, что внедрение цифровых инструментов сопряжено с рядом вызовов. Среди них – проблема несовместимости форматов данных между различными программными комплексами, необходимость стандартизации на уровне отрасли, вопросы кадровой подготовки (появление новых ролей вроде BIM-менеджера или аналитика данных), а также организационные и финансовые барьеры (затраты на лицензии, интеграцию и обучение). Отдельным аспектом остается нормативное обеспечение: не все процедуры и требования экспертных организаций в полной мере адаптированы к работе исключительно с цифровыми документами.

Ограничения и барьеры внедрения включают необходимость обеспечения высокого качества исходных цифровых данных (полнота и корректность BIM/CAD-моделей), потребность в обучении персонала, а также вопросы совместимости различных программных решений и форматов данных. Для решения данных вопросов необходимо применение комплексного подхода к цифровой трансформации сметного дела в дорожном строительстве.

Перспективы развития автоматизированных сметных технологий в дорожном строительстве связаны с дальнейшей интеграцией BIM-моделей, развитием алгоритмов семантического анализа для более точного сопоставления конструктивных решений с нормативами, а также с использованием прогнозной аналитики для оценки стоимости на ранних стадиях проектирования.

4. Заключение

Сравнительный анализ традиционного и автоматизированного подходов к составлению смет в дорожном строительстве наглядно показал, что традиционный подход характеризуется высокой долей ручного труда, повышенной вероятностью ошибок из-за человеческий фактор и значительными временными затратами на сбор и обработку данных. Автоматизированный подход, напротив, обеспечивает существенное сокращение сроков формирования сметной документации и повышение точности расчетов за счет исключения ручных операций по извлечению объемов и подбору расценок.

Использование автоматизированных систем в сметных расчетах позволяет установить сквозную связь между проектной информацией и стоимостными показателями.

Оптимальный путь развития сметного дела в дорожном строительстве, это не полная замена традиционных методов, а их рациональное сочетание с цифровыми технологиями: автоматизация должна брать на себя рутинные операции, а специалист сосредоточиться на экспертной оценке, контроле качества и принятии управленческих решений.

Список литературы

1. Петропавловских, О. К. Эффективность управления проектами при строительстве искусственных сооружений / О. К. Петропавловских, А. А. Ибрагимова, Р. Р. Садыков, Л. И. Габитова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – № 1 (51). – С. 189-198. – EDN BSCUOB.

2. Петроченко, М. В. Метод оценки качества проектов транспортных сооружений / М. В. Петроченко // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – № 2 (72). – С. 221-231. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/72.20. – EDN NIFCKQ.

3. Петропавловских, О. К. Опыт внедрения технологий информационного моделирования при разработке проекта капитального ремонта путепровода / О. К. Петропавловских, М. А. Колобков, Я. А. Михайлов // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2026. – № 1 (13). – С. 65-73. – EDN TGZBFB.

4. Николаева, Р. В. Развитие улично-дорожной сети при реализации проектов реновации / Р. В. Николаева, В. Н. Анисимов, Н. Б. Мавлиева // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2025. – № 4 (12). – С. 54-62. – EDN KLYLXE.

5. Yingxin G., Maxwell F. A., Yuxiang H., Zhen-Song C., Bilal M. Artificial Intelligence in Construction Project Management: A Systematic Literature Review of Cost, Time, and Safety Management. *Buildings*. 2026; 16: P. 1061. https://doi.org/10.3390/buildings16051061 (in USA).

6. Соловьева, Е. В. Искусственный интеллект в прогнозировании стоимости строительных проектов / Е. В. Соловьева, В. А. Дроздова, Я. В. Крутикова, Н. С. Кашин // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 7 (180). – С. 1223-1227. – DOI 10.34925/EIP.2025.180.7.218. – EDN FHLCUW.

7. Rosanne L., Anne-Marie B. Estimating Road Construction Costs with Explainable Machine Learning. *Journal on Applied Analytics*. 2023; 55 (2): P. 137-153. https://doi.org/10.1287/inte.2023.0027 (in Canada).

8. Пиляй, И. В. Применение систем искусственного интеллекта для оценки времени и стоимости строительного проекта / И. В. Пиляй // Строительство и архитектура. – 2023. – Т. 11, № 1. – С. 19. – DOI 10.29039/2308-0191-2022-11-1-19-19. – EDN PJKRVF.

9. Автоматизация сметного учета с применением ИИ. – URL: https://workspace.ru/ (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.

10. Abdelsalam M., Ashmawi A., Phuong N. AI-Driven Automation of Construction Cost Estimation: Integrating BIM with Large Language Models. *Buildings*. 2026; Vol. 16: P. 485. https://doi.org/10.3390/buildings16030485.

УДК 004.89

НЕЙРОНЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ УТОМЛЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Никоноров Д.П., аспирант кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-7524-0500

NEURAL FUZZY MODEL FOR DETERMINING THE STATE OF DRIVERS' FATIGUE IN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

Nikonorov D.P., postgraduate student of the Information Security Systems Department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-7524-0500

Аннотация

Представлен подход к определению функционального состояния утомления водителя на основе анализа пупиллометрических данных с применением нечеткой нейронной сети ар-

хитектуры FNN. Использование этой архитектуры обусловлено возможностью обработки количественных признаков, соответствующих параметрам пупиллограмм, высокой точностью классификации и интерпретируемостью результатов определения состояния утомления. Особое внимание уделено формированию структуры нейронечеткой модели. Представлена реализация этапов отбора информативных входных признаков для анализа и определения числа их нечетких градаций, что позволяет уменьшить размерность нечеткой нейронной сети и ограничить количество формируемых нечетких правил. Настройка нейронечеткой модели завершается параметрической идентификацией ее функций принадлежности. В результате выполнения всех указанных этапов построена нейронечеткая модель с тремя входными признаками, характеризующими состояние утомления водителей на основе их пупиллометрических показателей. На тестовой выборке данных значение метрики Accuracy составило 98,83%, а значения метрик Precision, Recall и F1-score – 99,10%. Полученные результаты показали перспективность применения построенной нейронечеткой модели в интеллектуальных транспортных системах для автоматизированного бесконтактного контроля состояния утомления водителя.

Ключевые слова: нейронечеткая модель, нечеткая нейронная сеть, состояние утомления водителя, пупиллометрия, структурная идентификация, параметрическая идентификация, интеллектуальные транспортные системы

Abstract

An approach to determining the functional state of driver fatigue based on the analysis of pupillometric data using a fuzzy neural network of the FNN architecture is presented. The use of this architecture is due to the ability to process quantitative features corresponding to pupillogram parameters, high classification accuracy, and the interpretability of the fatigue determination results. Particular attention is paid to the formation of the neuro-fuzzy model structure. The implementation of the stages of selecting informative input features for analysis and determining the number of their fuzzy gradations is presented, which allows for reducing the dimensionality of the fuzzy neural network and limiting the number of generated fuzzy rules. The configuration of the neuro-fuzzy model is completed by parametric identification of its membership functions. As a result of completing all these stages, a neuro-fuzzy model with three input features characterizing the state of driver fatigue based on their pupillometric indicators was constructed. On the test data set, the Accuracy metric value was 98.83%, and the Precision, Recall, and F1-score metrics values were 99.10%. The obtained results demonstrated the potential of using the constructed neuro-fuzzy model in intelligent transport systems for automated contactless monitoring of driver fatigue.

Keywords: neuro-fuzzy model, fuzzy neural network, driver fatigue state, pupillometry, structural identification, parametric identification, intelligent transport systems

Введение

Одной из актуальных задач современных интеллектуальных транспортных систем является своевременное определение состояния утомления водителя [1]. Такое состояние является причиной снижения работоспособности, ухудшения внимания и увеличения времени реакции, что повышает вероятность аварийных ситуаций при управлении транспортным средством и возникновения дорожно-транспортных происшествий [2]. Для оценки состояния утомления могут использоваться физиологические показатели. Одним из перспективных методов является пупиллометрия [3], основанная на регистрации и анализе изменения диаметра зрачка во времени. Получаемая пупиллограмма содержит количественные характеристики зрачковой реакции, которые могут использоваться для определения состояния утомления. Интерпретация пупиллометрических данных требует анализа совокупности признаков, взаимосвязи между которыми могут иметь нелинейный характер и не всегда описываются фиксированными пороговыми значениями. В связи с этим актуальным является применение

методов интеллектуального анализа данных [4], позволяющих автоматически определять состояние утомления водителя по совокупности пупиллометрических признаков.

Перспективным подходом в этом направлении является использование нейронечетких моделей [5], объединяющих возможности искусственных нейронных сетей по выявлению нелинейных зависимостей в анализируемых данных [6] и математического аппарата нечеткой логики по представлению знаний в интерпретируемой и понятной для человека форме [7]. Это позволяет учитывать неопределенность границ состояния утомления и обеспечивать интерпретируемость результатов классификации. В работе разработана нейронечеткая модель определения состояния утомления водителя на основе восьми количественных признаков пупиллограмм. Для формирования и настройки модели использовано специализированное программное средство.

Структура разработанной нейронечеткой модели

Задача определения состояния утомления водителя по параметрам пупиллограммы предполагает обработку количественных входных данных и получение результата классификации. При этом важным требованием к модели является не только точность, но и возможность интерпретации сформированного решения. С учетом этих требований в качестве основы нейронечеткой модели выбрана архитектура FNN (Fuzzy Neural Network) [8]. Проведенный анализ архитектур нечетких нейронных сетей показал, что FNN ориентирована на решение задач классификации и характеризуется высокой точностью и высокой интерпретируемостью. Совокупность этих свойств соответствует особенностям рассматриваемой задачи и позволяет использовать эту архитектуру для анализа значений количественных параметров пупиллограмм.

На рис. 1 представлена архитектура нейронечеткой модели.

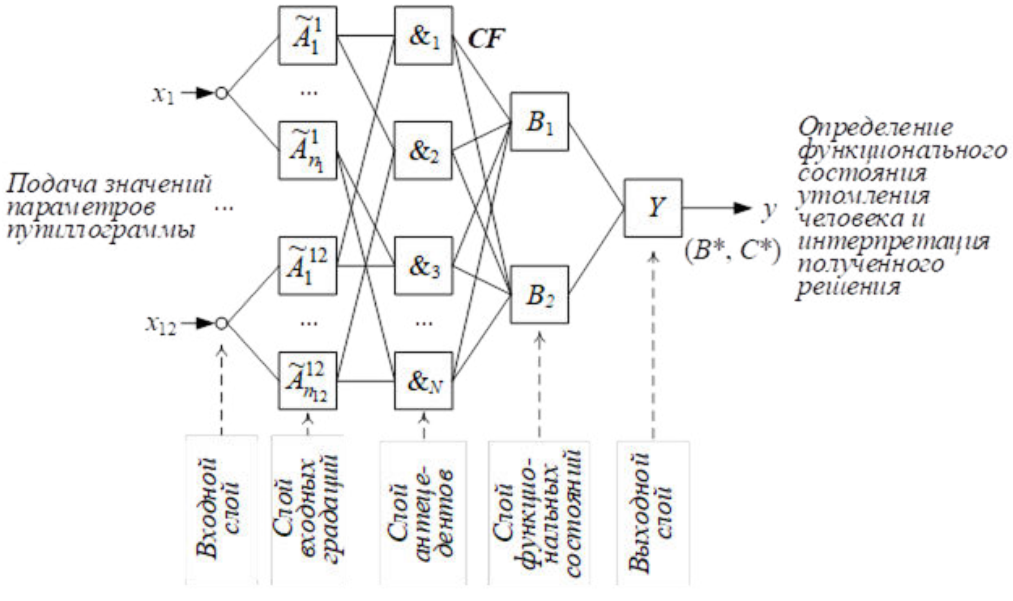


Рис. 1. Архитектура нейронечеткой модели

Представленная архитектура реализует последовательное преобразование количественных параметров пупиллограммы в результат классификации. На вход модели поступает вектор $X = (x_1, \ldots, x_8)$, содержащий значения анализируемых признаков. Для каждого признака задается собственный набор нечетких градаций, число которых может различаться для отдельных входных переменных. Градации описываются функциями принадлежности, посредством которых исходные числовые значения преобразуются в степени соответствия определенным нечетким областям. Далее модель формирует комбинации активированных градаций различных признаков. Каждая такая комбинация отражает определенную взаимосвязь между

параметрами пупиллограммы и участвует в формировании итогового решения. Степень влияния сформированных комбинаций определяется коэффициентами *CF*, характеризующими их значимость для соответствующих выходных решений. Результат работы модели формируется на основе совокупности активированных комбинаций и их весовых коэффициентов. На выходе определяется наиболее вероятный класс B^* и соответствующая ему оценка достоверности C^*. Возможность сопоставления полученного решения с нечеткими градациями входных нейронов обеспечивает его интерпретируемость.

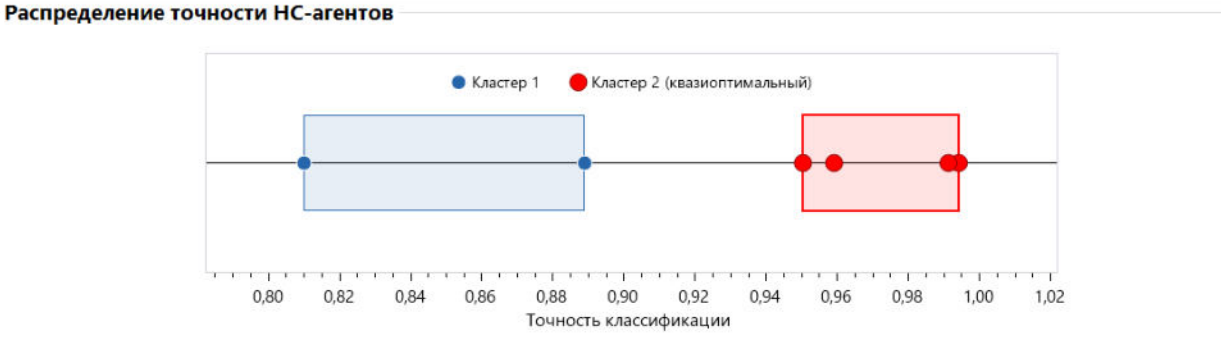
Структурная и параметрическая идентификация модели

При увеличении числа входных нейронов и количества их градаций число возможных комбинаций нечетких термов возрастает экспоненциально, что приводит к существенному увеличению размерности модели и числа формируемых нечетких правил. Поэтому построение FNN требует обоснованного выбора структуры, обеспечивающей высокую точность классификации при рациональной сложности модели. Для решения данной задачи выполняется структурная идентификация нейронечеткой модели. Она заключается в определении состава входных нейронов и числа нечетких градаций для каждого из них. В рассматриваемом подходе структурная идентификация включает два последовательных этапа: структурную преднастройку и структурную оптимизацию.

На этапе структурной преднастройки формируется множество квазиоптимальных составов входных нейронов. Для их поиска используется генетический алгоритм, в котором различные сочетания входных признаков оцениваются по результатам классификации нейросетевыми агентами. Полученные значения точности дополнительно обрабатываются методом кластеризации *k*-средних, что позволяет выделить группу наиболее перспективных составов входных признаков.

На рис. 2 представлен результат структурной преднастройки модели.

В данном окне представлено распределение точности НС-агентов, разделенные на 2 кластера. Кластер 2 содержит значения точностей НС-агентов, соответствующих квазиоптимальным составам входных нейронов нейронечеткой модели.



Состав кластеров

Кластер 1

Точность (TEST)	Состав входных нейронов
88,89 %	Dk, ts, tr
80,99 %	Vs, tl, tps

Кластер 2 — квазиоптимальный

Точность (TEST)	Состав входных нейронов
99,42 %	Dk, Vr, ts
99,12 %	Dk, Vr, tpr
95,91 %	Dk, Vs, ts
95,03 %	Vr, ts, tr

Рис. 2. Пример результатов кластеризации

На этапе структурной оптимизации для каждого квазиоптимального состава определяется число нечетких градаций входных нейронов. Выбор выполняется с использованием генетического алгоритма, а полученные варианты оцениваются по точности классификации и размерности модели. Если несколько структур обеспечивают одинаковое максимальное значение точности, предпочтение отдается варианту с меньшей размерностью. После определения структуры выполняется параметрическая идентификация модели. Ее задача состоит в определении значений параметров функций принадлежности. Параметрическая идентификация также включает два этапа: параметрическую преднастройку и параметрическую оптимизацию.

На этапе параметрической преднастройки определяются начальные значения параметров функций принадлежности. Для этого анализируется распределение значений каждого входного признака в областях, соответствующих классам решений, а в области их пересечения применяется кластеризация методом *k*-средних. Полученные результаты используются для формирования начальной конфигурации функций принадлежности.

На рис. 3 представлено окно с результатами инициализации ННС с оптимальным составом входных нейронов.

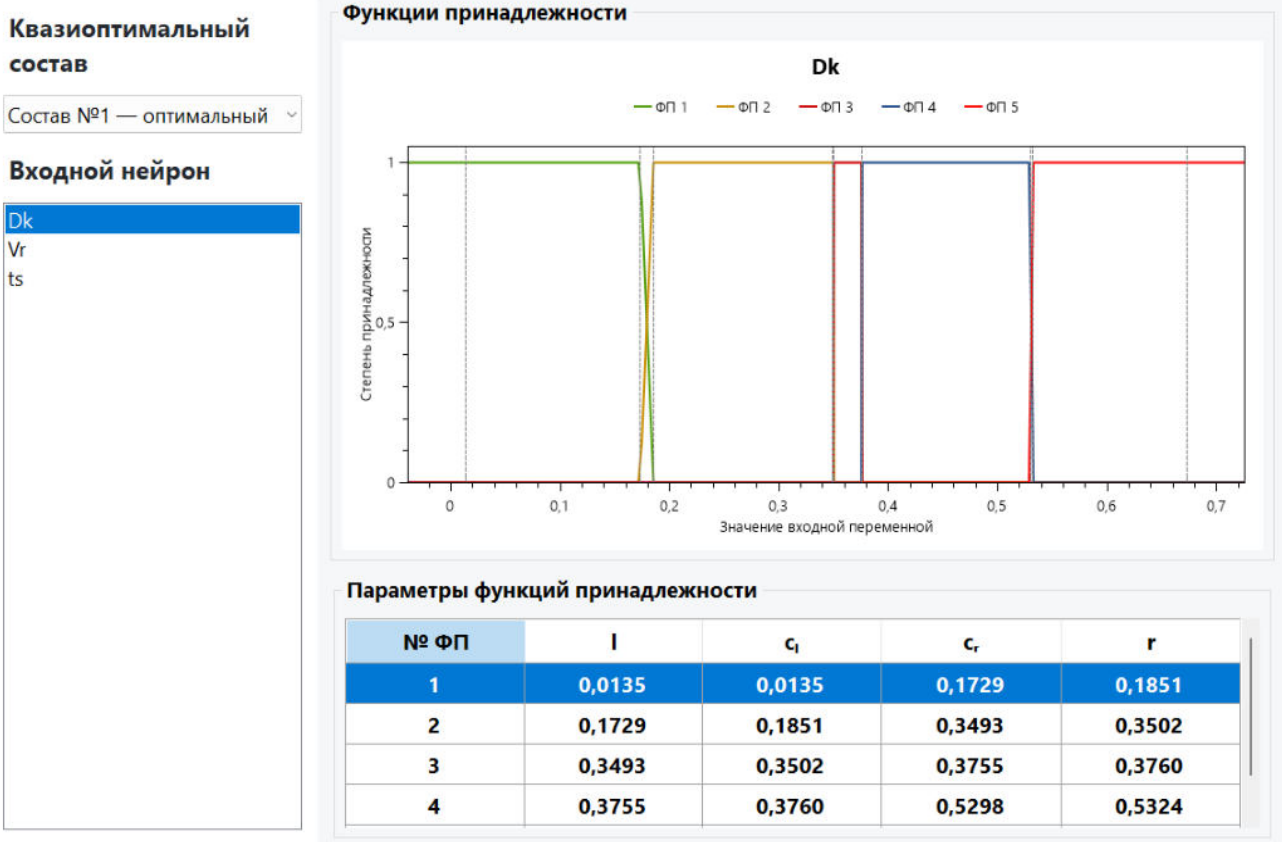


Рис. 3. Пример результатов инициализации ННС

В данном окне можно заметить график функции принадлежности входного параметра Dk. В результате структурной преднастройки, структурной оптимизации и инициализации, для нейрона соответствующего входному признаку Dk сформированы 5 нейронов градации трапецеидального вида и определены их параметры.

На этапе параметрической оптимизации выполняется настройка параметров функций принадлежности с использованием генетического алгоритма [9]. В качестве критерия оптимизации используется максимизация точности классификации нейронечеткой модели на обучающей выборке.

На рис. 4 представлена схема настраиваемых параметров функций принадлежности.

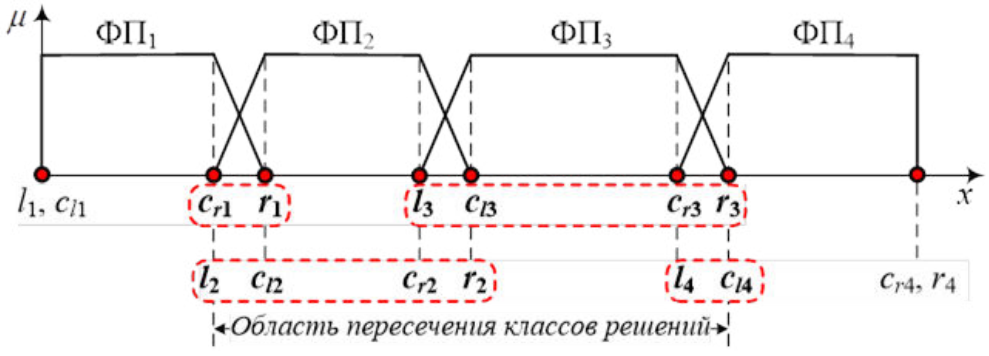


Рис. 4. Схема настраиваемых параметров ФП

На этом рисунке представлена схема функций принадлежности для входного нейрона нейронечеткой модели. Выделенная область пересечения классов решений включает в себя точки c_{r1}, r_1, l_3, c_{l3}, c_{r3}, r_3, являющиеся параметрами функций принадлежности. Эти точки настраиваются с помощью специализированного генетического алгоритма, смещаясь по оси x в пределах ограниченных диапазонов, что позволяет достигнуть повышения точности классификации. В результате формируется нейронечеткая модель с идентифицированной структурой и оптимизированными параметрами, адаптированная к анализируемым пупиллометрическим данным.

Оценка эффективности построенной модели

Оценка эффективности построенной нейронечеткой модели выполнена на обучающей и тестовой выборках пупиллометрических данных. В качестве показателей качества использованы метрики Accuracy, Precision, Recall и F1-score, а также матрицы ошибок [10]. После выполнения структурной и параметрической идентификации сформирована нейронечеткая модель с соответствующими входными нейронами.

Результаты оценки качества классификации нейронечеткой модели представлены на рис. 5.

Состав входных нейронов: Dk, Vr, ts

Метрики ННС

Метрика	Train, %	Test, %
Accuracy	100,00	98,83
Precision	100,00	99,10
Recall	100,00	99,10
F1-score	100,00	99,10

Матрица ошибок ННС (TRAIN)

Фактическое значение \ Классифицированное значение	Класс: 0	Класс: 1
Класс: 0	TN 325	FP 0
Класс: 1	FN 0	TP 600

Матрица ошибок ННС (TEST)

Фактическое значение \ Классифицированное значение	Класс: 0	Класс: 1
Класс: 0	TN 117	FP 2
Класс: 1	FN 2	TP 221

Рис. 5. Пример расчета метрик качества классификации

На рисунке представлены результаты оценки качества классификации построенной нейронечеткой модели на обучающей и тестовой выборках. В верхней части рисунка приведены значения метрик Accuracy, Precision, Recall и F1-score. Для обучающей выборки значения всех метрик составляют 100%, для тестовой выборки значение Accuracy равно 98,83%, а значения Precision, Recall и F1-score – 99,10%. В нижней части рисунка представлены матрицы ошибок для обучающей и тестовой выборок. На обучающей выборке правильно классифицированы 325 объектов класса 0 и 600 объектов класса 1, ошибочные решения отсутствуют. На тестовой выборке правильно классифицированы 117 объектов класса 0 и 221 объект класса 1. При этом зафиксировано два ложноположительных и два ложноотрицательных решения. Представленные результаты свидетельствуют о высокой точности построенной нейронечеткой модели и сохранении высоких показателей классификации на тестовых данных. Это подтверждает эффективность выполненной структурной и параметрической идентификации модели.

Заключение

В работе рассмотрена задача определения состояния утомления водителя по пупиллометрическим данным с использованием нейронечеткой модели архитектуры FNN. Выбор этой архитектуры обусловлен ее применимостью к задачам классификации, высокой точностью и возможностью интерпретации получаемых решений.

Построение модели выполнено с применением процедур структурной и параметрической идентификации. На этапе структурной идентификации определены состав входных нейронов и число их нечетких градаций, что позволило сократить размерность модели и избежать избыточного роста числа возможных нечетких правил. На этапе параметрической идентификации выполнена настройка параметров функций принадлежности, формализующих нечеткие градации входных переменных.

В результате сформирована нейронечеткая модель с входными признаками D_k, V_r, t_s. Оценка эффективности показала высокое качество классификации: на обучающей выборке значения Accuracy, Precision, Recall и F1-score составили 100%, а на тестовой выборке Accuracy составила 98,83%, при значениях Precision, Recall и F1-score, равных 99,10%. На тестовой выборке модель допустила четыре ошибочных решения. Полученные результаты подтверждают эффективность применения структурной и параметрической идентификации при построении нейронечеткой модели определения состояния утомления водителя. Сокращение состава входных признаков позволило сформировать более компактную структуру нейронечеткой модели при сохранении высоких показателей точности классификации.

Разработанная нейронечеткая модель может быть использована в составе интеллектуальных транспортных систем для автоматизированного определения состояния утомления водителя по данным пупиллометрии.

Список литературы

1. Баринова, А. О. Формирование и использование базы знаний для оценки функционального состояния водителей автотранспортных средств / А. О. Баринова, Д. В. Катасёва, А. С. Катасёв // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т. 23, № 10. – С. 75-78.

2. Баторшин, Т. Р. Интеллектуальная система обнаружения дорожно-транспортных происшествий на основе тепловых карт и нейросетевой детекции объектов / Т. Р. Баторшин, Р. М. Габбазов, А. С. Катасёв, Р. Н. Миниханов, С. В. Новикова, Р. И. Фахразиев // Вестник Технологического университета. – 2026. – Т. 29, № 2. – С. 132-136.

3. Bauer, R. The effect of mindfulness and stereotype threat in mental rotation: a pupillometry study / R. Bauer, L. Jost, P. Jansen // Journal of Cognitive Psychology. – 2021. – Vol. 33, № 8. – P. 861-876.

4. Дагаева, М. В. Обнаружение программ-ботов в социальных сетях на основе методов интеллектуального анализа данных / М. В. Дагаева, Д. В. Катасёва, А. С. Катасёв // Информация и безопасность. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 540-545.

5. Катасёва, Д. В. Нейронечеткая модель оценки вредоносности сетевого трафика в Android-приложениях / Д. В. Катасёва, Д. Д. Лосева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 1. – С. 77-80.

6. Пырнова, О. А. Применение нейронных сетей для автоматизированного обнаружения патологий на рентгеновских снимках легких / О. А. Пырнова, Д. П. Никоноров // Мягкие измерения и вычисления. – 2026. – Т. 99, № 2-4. – С. 54-62.

7. Dagaeva, M. Fuzzy rules reduction in knowledge bases of decision support systems by objects state evaluation / M. Dagaeva, A. Katasev // Studies in Systems, Decision and Control. – 2021. – Vol. 338. – P. 113-123.

8. Chupin, M. M. Neuro-fuzzy model in supply chain management for objects state assessing / M. M. Chupin, A. S. Katasev, A. M. Akhmetvaleev, D. V. Kataseva // International Journal of Supply Chain Management. – 2019. – Vol. 8, № 5. – P. 201-208.

9. Ke-Qi, Zh. Path Planning of Mobile Robots Based on Improved Genetic Algoritm / Zh. Ke-Qi // International Journal of Engineering Continuity. – 2023. – Vol. 2, № 1. – P. 40-48.

10. Bhatta, R.P. Ensemble Based Machine Learning Model for Prediction of Diabetes / R.P. Bhatta // NPRC Journal of Multidisciplinary Research. – 2026. – Vol. 3, № 2. – P. 116-129.

УДК 004.85:612.821

СРАВНЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ МЮ- И БЕТА-РИТМОВ ЭЭГ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ МОТОРНЫХ ОБРАЗОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Салахов А.М., студент;
ORCID: 0009-0000-9580-4340;
E-mail: arthursalakhov1@gmail.com;
Шиндор О.В., к.т.н., заместитель директора по научной деятельности Института ИИ, робототехники и системной инженерии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-6476-8789;
E-mail: OVShindor@kpfu.ru

COMPARISON OF THE INFORMATIVENESS OF EEG MU- AND BETA-RHYTHMS FOR MOTOR IMAGERY CLASSIFICATION IN MOBILE ROBOT CONTROL

Salakhov A.M., student;
ORCID: 0009-0000-9580-4340;
E-mail: arthursalakhov1@gmail.com;
Shindor O.V., Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Research at the Institute of AI, Robotics and Systems Engineering, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-6476-8789;
E-mail: OVShindor@kpfu.ru

Аннотация

Работа посвящена сравнению информативности мю-ритма (8-13 Гц), бета-ритма (13-30 Гц) и объединённого диапазона (8-30 Гц) при классификации моторных образов сжатия левой и правой руки по сигналам ЭЭГ для систем управления мобильным роботом. Предобработка включала унификацию монтажа электродов, полосовую фильтрацию непрерывного сигнала и выделение эпох. Для извлечения признаков применялся метод общих пространственных

паттернов с формированием шести логарифмических дисперсионных признаков; классификация осуществлялась методами линейного SVM и LDA. Качество оценивалось с помощью стратифицированной пятикратной перекрёстной проверки, при этом CSP и классификатор обучались только на обучающих подвыборках.

Установлено, что частотный диапазон, обеспечивающий наибольшую точность классификации, индивидуален для каждого испытуемого и не является универсальным. У одного испытуемого предпочтительным оказался мю-диапазон, у другого – объединённый диапазон 8-30 Гц, тогда как в остальных случаях различия между результатами были сопоставимы со стандартным отклонением. Наибольшая точность 0,78 получена для испытуемого S2 в диапазоне 8-30 Гц при использовании обоих классификаторов. Полученные результаты подтверждают целесообразность индивидуального выбора частотной полосы при настройке ЭЭГ-интерфейса управления мобильным роботом.

Ключевые слова: электроэнцефалография, интерфейс мозг-компьютер мю-ритм, бета-ритм, моторные образы, общие пространственные паттерны, метод опорных векторов; классификация ЭЭГ

Abstract

This study compares the informativeness of the mu rhythm (8-13 Hz), beta rhythm (13-30 Hz), and the combined frequency band (8-30 Hz) for classifying motor imagery of left- and right-hand clenching from EEG signals in mobile robot control systems. Preprocessing included standardization of the electrode montage, band-pass filtering of continuous signals, and epoch extraction. Common spatial patterns were used for feature extraction, producing six logarithmic variance features; classification was performed using linear SVM and LDA methods. Performance was evaluated using stratified five-fold cross-validation, with CSP and the classifier fitted exclusively on the training subsets.

The frequency band providing the highest classification accuracy was found to be individual-specific rather than universal. For one participant, the mu band was preferable; for another, the combined 8-30 Hz band yielded the best result. In the remaining cases, the differences between results were comparable to the standard deviation. The highest accuracy, 0.78, was achieved for participant S2 in the 8-30 Hz band using both classifiers. These findings support the need for an individualized selection of the frequency band when configuring an EEG-based interface for mobile robot control.

Keywords: electroencephalography, brain-computer interface, mu rhythm, beta rhythm, motor imagery, common spatial patterns, support vector machine, EEG classification

Введение

Интерфейс «мозг-компьютер» (далее – ИМК) представляет собой программно-аппаратный комплекс, позволяющий преобразовывать сигналы электрической активности мозга в команды управления внешним устройством, минуя мышечную активность [1]. Одним из перспективных применений неинвазивных ИМК на основе электроэнцефалографии (ЭЭГ) является управление мобильными роботами и роботизированными платформами, в том числе в задачах ассистивных технологий и нейрореабилитации [2]. Актуальность обусловлена тем, что для систем управления мобильным роботом на основе ЭЭГ-сигналов важна быстрая скорость обработки сигналов. Такие системы должны распознавать команды пользователя в режиме реального времени, поэтому алгоритмы обработки сигнала не должны создавать большую вычислительную нагрузку и задержку. Оптимизация вычислительной обработки данных ЭЭГ может быть достигнута путём фильтрации сигнала в узком частотном диапазоне, характеризующемся максимальной информативностью относительно моторного воображения.

В основе большинства систем управления по моторным образам лежит явление событийно-связанной десинхронизации и синхронизации (ERD/ERS) сенсомоторных ритмов ЭЭГ: мю-ритма (8-13 Гц) и бета-ритма (13-30 Гц) [3]. Установлено, что мю-ритм десинхронизируется над сенсомоторной корой с двух сторон, а бета-ритм десинхронизируется преимущественно

в области вертекса, что говорит об относительной независимости этих ритмов [4]. Несмотря на то, что мю- и бета-ритмы традиционно рассматриваются как основные сенсомоторные компоненты ЭЭГ при выполнении моторных образов, их выраженность, пространственное распределение и вклад в классификацию могут различаться [3-5]. В исследованиях ИМК мю- и бета-активность нередко анализируются совместно в рамках объединённой сенсомоторной полосы, тогда как их сравнительная информативность для конкретного пользователя зависит от типа моторной задачи, используемых признаков и алгоритма классификации [3-6]. В частности, применение мю-бета-активности для управления робототехническими устройствами рассматривается в работе. Поэтому актуальной является оценка того, какой из диапазонов – мю-ритм, бета-ритм или объединённая полоса 8-30 Гц – обеспечивает наибольшую точность классификации моторных образов сжатия левой и правой руки для конкретного испытуемого. Выраженность мю- и бета-ритмов, а также их распределение по областям коры головного мозга различаются у разных людей. Поэтому диапазон, который обеспечивает высокую точность классификации у одного испытуемого, может оказаться менее информативным для другого.

В исследованиях систем «мозг-компьютер» для распознавания моторных образов часто используют фильтрацию ЭЭГ в объединённом диапазоне 8-30 Гц. Этот диапазон включает мю- и бета-ритмы, связанные с воображением и выполнением движений. Для извлечения признаков широко применяется метод общих пространственных паттернов, а для классификации сигналов моторных образов используются линейный дискриминантный анализ и метод опорных векторов [3, 8-10].

Рассмотрение мю- и бета-ритмов в диапазоне 8-30 Гц не позволяет определить отдельный диапазон или их объединение содержит наиболее полезную информацию для классификации моторных образов у конкретного пользователя.

Таким образом, нерешённой остаётся задача сравнения информативности мю- и бета-ритмов ЭЭГ при классификации моторных образов у разных испытуемых. Также необходимо установить, сохраняется ли преимущество определённого диапазона при использовании различных классификаторов.

Целью настоящего исследования является сравнение информативности мю-диапазона 8-13 Гц, бета-диапазона 13-30 Гц и объединённого диапазона 8-30 Гц при классификации моторных образов сжатия левой и правой руки по сигналам ЭЭГ.

Методика

В работе сравнивалась информативность трех частотных диапазонов ЭЭГ: мю-диапазона 8-13 Гц, бета-диапазона 13-30 Гц и объединённого диапазона 8-30 Гц. Информативным признаком будем понимать возможность различения моторных образов сжатия левой и правой руки посредством ЭЭГ сигнала соответствующей полосы частот. Сравнение выполнялось отдельно для каждого испытуемого, поскольку выраженность и пространственное распределение сенсомоторных ритмов могут различаться у разных людей. Основным показателем информативности являлась точность классификации моторных образов, дополнительно оценивалось стандартное отклонение точности классификации по блокам перекрёстной проверки, характеризующее устойчивость полученного результата.

Предобработка данных включала загрузку исходных записей ЭЭГ и приведение их к единому монтажу электродов для каждого из испытуемых. Полосовая фильтрация выполнялась для непрерывного ЭЭГ-сигнала до его разделения на эпохи; для каждого испытуемого были реализованы три варианта полосовой фильтрации – мю-диапазон 8-13 Гц, бета-диапазон 13-30 Гц и объединённый диапазон 8-30 Гц.

Извлечение признаков выполнялось методом общих пространственных паттернов (Common Spatial Patterns, CSP). Метод CSP строит пространственные фильтры, максимизирующие дисперсию ЭЭГ-сигнала одного класса и минимизирующие дисперсию сигнала другого класса [8]. CSP широко применяется для извлечения признаков в задачах классификации моторных образов ЭЭГ [9]. Для каждого частотного диапазона и каждого испытуемого формиро-

вались шесть признаков CSP, представляющих собой логарифмы дисперсий пространственно отфильтрованных сигналов.

Классификация выполнялась двумя методами: методом опорных векторов с линейным ядром (Support Vector Machine, SVM) и линейным дискриминантным анализом (Linear Discriminant Analysis, LDA).

Оценка качества классификации проводилась отдельно для каждой комбинации «частотный диапазон, испытуемый, классификатор». Всего было рассмотрено 24 комбинации: 3 частотных диапазона умножить на 4 испытуемых умножить на 2 классификатора. Для оценки применялась стратифицированная пятикратная перекрёстная проверка. Пространственные фильтры CSP и классификатор были объединены в единый конвейер обработки и на каждом разбиении обучались только на обучающей части данных, после чего качество классификации оценивалось на тестовой части. Такой порядок исключает использование информации из тестовой выборки при построении пространственных фильтров и обучении классификатора. Алгоритм обработки данных представлен на рис. 1.

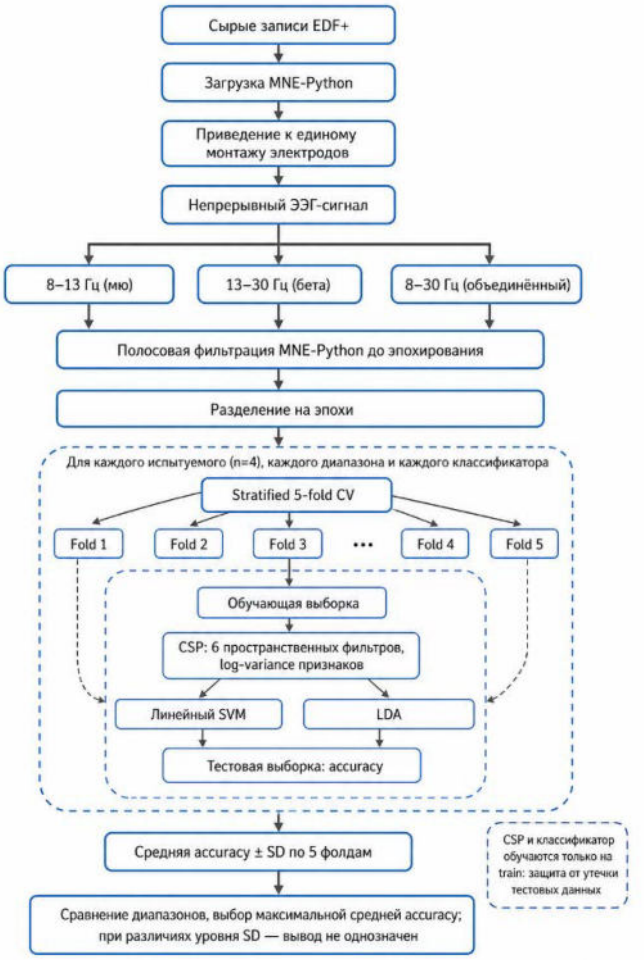


Рис. 1. Алгоритм обработки ЭЭГ-сигналов

В качестве основной метрики использовалась точность классификации, то есть доля правильно классифицированных эпох ЭЭГ. Для каждой комбинации рассчитывались средняя точность классификации и её стандартное отклонение по пяти блокам перекрёстной проверки. Для каждого испытуемого и каждого классификатора предпочтительным считался диапазон, обеспечивший максимальную среднюю точность классификации. Если различия между средними значениями точности были сопоставимы со стандартным отклонением, однозначный вывод о преимуществе одного диапазона над другим не делался.

Основная часть

В исследовании использовался открытый набор данных «EEG Motor Movement/Imagery Dataset» [7]. Набор содержит 64-канальные записи ЭЭГ 109 испытуемых, выполнявших реальные и воображаемые движения по протоколу системы BCI2000 с частотой дискретизации 160 Гц. Для настоящего исследования были отобраны записи четырёх испытуемых, обозначенных как S1-S4, из серии заданий на воображаемое сжатие левого или правого кулака. Использовались задачи 4, 8 и 12 протокола.

В табл. 1 представлена сводная точность классификации моторных образов и стандартное отклонение для возможных классификаций сочетаний диапазона, испытуемого и классификатора.

Таблица 1

Точность классификации моторных образов

Испытуемый	Диапазон	Классификатор	Точность (среднее)	Стандартное отклонение
S1	мю	SVM	0,76	0,163
S1	мю	LDA	0,78	0,070
S1	бета	SVM	0,76	0,083
S1	бета	LDA	0,69	0,109
S1	мю+бета	SVM	0,71	0,089
S1	мю+бета	LDA	0,71	0,089
S2	мю	SVM	0,69	0,130
S2	мю	LDA	0,67	0,070
S2	бета	SVM	0,60	0,229
S2	бета	LDA	0,71	0,151
S2	мю+бета	SVM	0,78	0,099
S2	мю+бета	LDA	0,78	0,141
S3	мю	SVM	0,58	0,178
S3	мю	LDA	0,56	0,070
S3	бета	SVM	0,58	0,083
S3	бета	LDA	0,60	0,133
S3	мю+бета	SVM	0,58	0,130
S3	мю+бета	LDA	0,56	0,157
S4	мю	SVM	0,42	0,130
S4	мю	LDA	0,40	0,166
S4	бета	SVM	0,56	0,157
S4	бета	LDA	0,56	0,122
S4	мю+бета	SVM	0,64	0,178
S4	мю+бета	LDA	0,53	0,178

Анализ табл. 1 показывает, что диапазон, обеспечивающий максимальную среднюю точность классификации, различается между испытуемыми. У испытуемого S1 максимальная точность для SVM достигнута одновременно в мю- и бета-диапазонах (0,76), а для LDA – в мю-диапазоне (0,78). У испытуемого S2 максимальная средняя точность для обоих классификаторов получена в объединённом диапазоне 8–30 Гц и составила 0,78. У испытуемого S3 при SVM все три диапазона дали одинаковую точность (0,58), а при LDA максимум получен в бета-диапазоне (0,60), хотя разница с другими диапазонами (0,56) не превышает стандарт-

ное отклонение. У испытуемого S4 наибольшая точность для SVM получена в объединённом диапазоне (0,64), а для LDA – в бета-диапазоне (0,56); при этом мю-диапазон у S4 стабильно показывает наименьшую точность для обоих классификаторов (0,42 и 0,40). Для наглядности распределение точности по диапазонам и классификаторам для каждого испытуемого приведено на рис. 2.

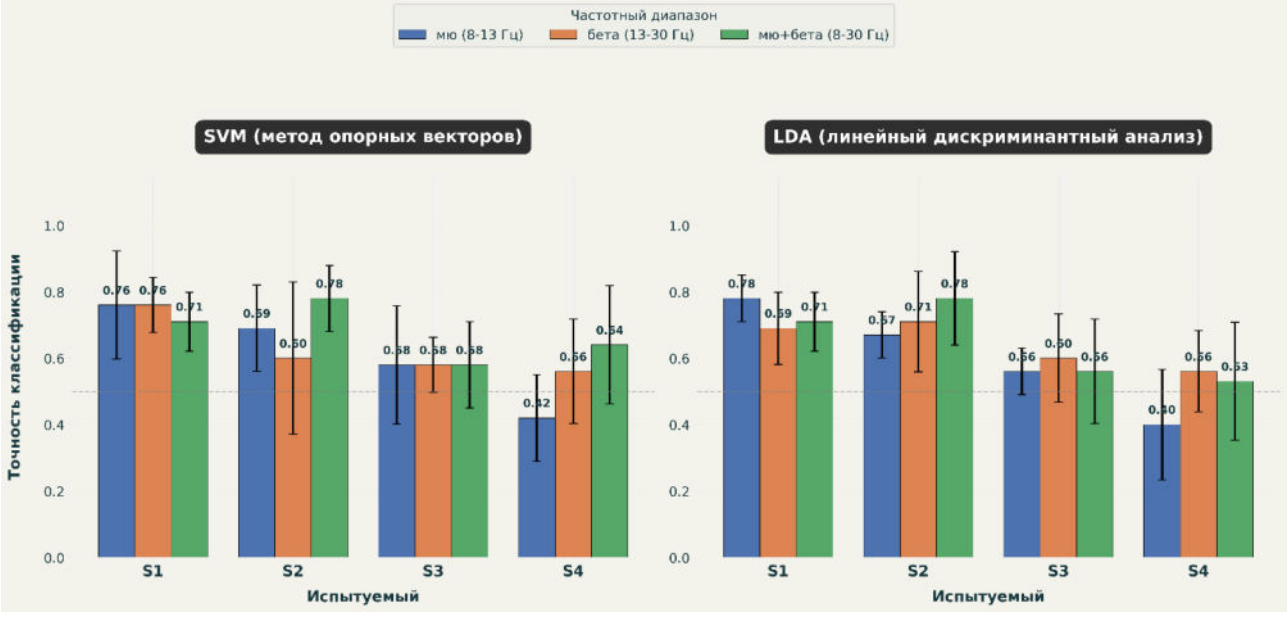


Рис. 2. Точность классификации по трём частотным диапазонам для каждого испытуемого, отдельно для классификаторов SVM и LDA

Сопоставление диапазонов с максимальной средней точностью у разных испытуемых показывает, что универсального предпочтения не существует. У S1 предпочтителен мю-диапазон, с учётом того, что для SVM он делит первое место с бета-диапазоном. У S2 устойчиво предпочтителен объединённый диапазон 8–30 Гц – оба классификатора дают на нём одинаковую и наибольшую точность. У S3 различия между диапазонами не выходят за пределы стандартного отклонения, поэтому однозначный вывод о предпочтительном диапазоне сделать нельзя. У S4 мю-диапазон заметно уступает бета- и объединённому диапазонам у обоих классификаторов, однако различие между бета- и объединённым диапазонами внутри самого S4 невелико и сопоставимо с разбросом.

Сопоставление диапазона с максимальной точностью между двумя классификаторами внутри одного испытуемого позволяет оценить устойчивость предпочтения. У испытуемого S2 предпочтение объединённого диапазона полностью совпало между SVM и LDA, что указывает на устойчивый результат, не зависящий от типа классификатора. У испытуемого S1 совпадение частичное: SVM не выделяет один диапазон, тогда как LDA явно предпочитает мю-диапазон. У испытуемых S3 и S4 согласие между классификаторами также частичное, а сами различия между диапазонами сопоставимы со стандартным отклонением по блокам перекрёстной проверки, то есть не позволяют сделать статистически надёжный вывод о преимуществе одного диапазона. Усреднённая по четырём испытуемым точность для каждого диапазона и классификатора представлена на рис. 3.

Средние по четырём испытуемым значения точности классификации близки между диапазонами (0,60-0,68 для SVM и 0,60-0,65 для LDA), а наибольшее среднее значение для обоих классификаторов получено в объединённом диапазоне 8-30 Гц. Однако это среднее значение складывается из разнонаправленных индивидуальных результатов: у одних испытуемых лучше работает раздельная фильтрация, у других – объединённая полоса.

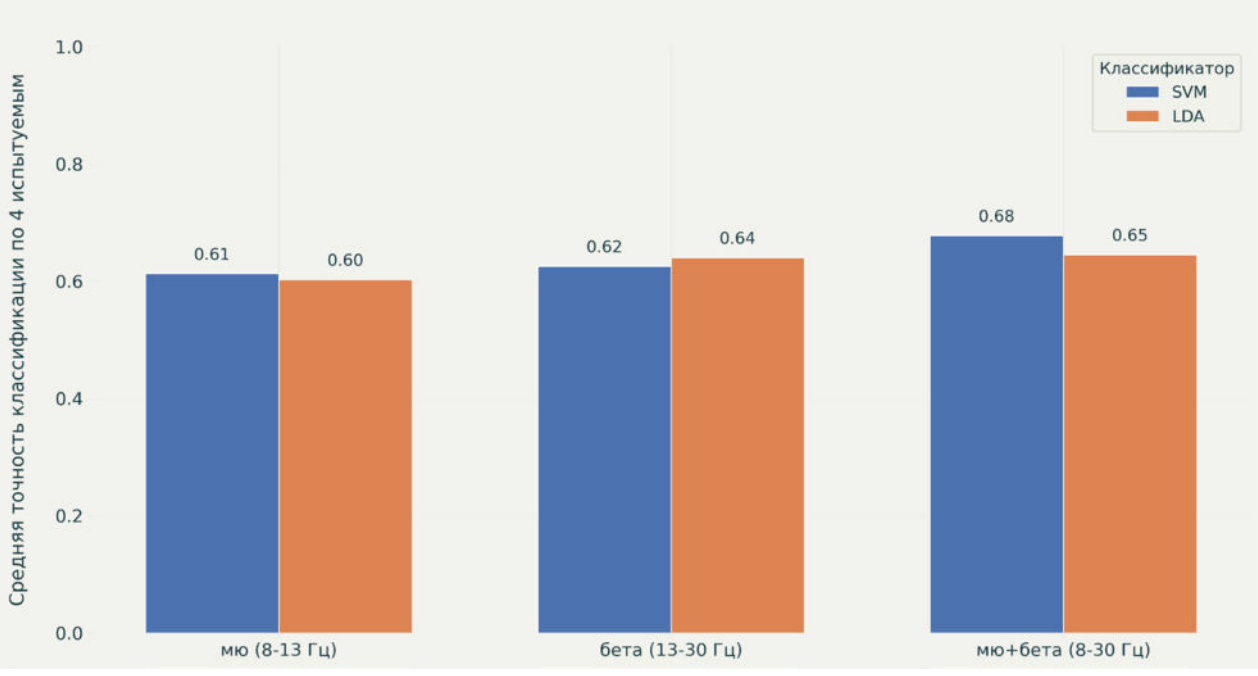


Рис. 3. Средняя точность классификации для каждого частотного диапазона, отдельно для классификаторов SVM и LDA

Наблюдаемые различия между испытуемыми могут быть обусловлены физиологическими особенностями выраженности и локализации сенсомоторных ритмов: у части людей мю- и бета-ритм над моторной корой десинхронизируются слабо или демонстрируют смещённую топографию относительно стандартных электродных позиций C3, Cz и C4, что снижает информативность CSP-признаков независимо от выбранного частотного диапазона [6]. Данное явление известно в литературе как «BCI-неграмотность» (BCI illiteracy) и может объяснять, почему у части испытуемых выбор диапазона слабо влияет на итоговую точность классификации [6]. У испытуемых с более выраженным откликом (например, S2) выбор диапазона определяет результат устойчиво и независимо от алгоритма классификации, что согласуется с представлением о независимости источников мю- и бета-ритмов [4] и результатами сравнения SVM и LDA на признаках CSP, где статистически значимых различий между классификаторами при прочих равных условиях не выявлено [10].

Выводы

В результате проведённого исследования установлено, что диапазон ЭЭГ (мю, бета или их объединение), обеспечивающий максимальную среднюю точность классификации моторных образов при управлении мобильным роботом, не является универсальным и варьируется между испытуемыми. У одного из четырёх испытуемых наибольшую точность обеспечил мю-диапазон, у второго – объединённый диапазон 8-30 Гц, а у двух оставшихся различия между вариантами фильтрации оказались сопоставимы со стандартным отклонением по блокам перекрёстной проверки.

Показано, что устойчивость предпочтения диапазона при смене классификатора (метод опорных векторов и линейный дискриминантный анализ) также носит индивидуальный характер: у испытуемого с выраженным откликом (S2) выбор диапазона полностью совпал между классификаторами, тогда как у остальных испытуемых согласие было частичным или отсутствовало, а наблюдаемые различия между диапазонами не выходили за пределы разброса по блокам проверки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что раздельная фильтрация мю- и бета-ритмов не даёт однозначного и универсального преимущества по сравнению с объединённым

диапазоном 8-30 Гц. Выбор оптимального диапазона целесообразно делать индивидуально для каждого пользователя системы управления роботом на основе ЭЭГ, а не фиксировать его заранее для всех пользователей.

Направлением дальнейшей работы является расширение выборки испытуемых из набора данных PhysioNet (набор содержит записи 109 человек) для статистической проверки выявленных индивидуальных различий, а также сравнение с дополнительными методами извлечения признаков и классификаторами.

Список литературы

1. Фролов, А. А. Ритмическая активность мозга и интерфейс мозг-компьютер, основанный на воображении движений / А. А. Фролов, И. Р. Федотова, Д. Гусек, П. Д. Бобров // Успехи физиологических наук. – 2017. – Т. 48, № 3. – С. 72–91.

2. Гунделах, Ф. В. Применение интерфейсов «мозг-компьютер» в ассистивных технологиях / Ф. В. Гунделах, Л. А. Станкевич, К. М. Сонькин, Ж. В. Нагорнова, Н. В. Шемякина // Труды СПИИРАН. – 2020. – Т. 19, № 2. – С. 277–301. DOI: 10.15622/sp.2020.19.2.2.

3. Pfurtscheller G., Brunner C., Schlögl A., Lopes da Silva F.H. Mu rhythm (de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks // NeuroImage. – 2006. – Vol. 31, № 1. – P. 153–159. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.12.003.

4. McFarland D.J., Miner L.A., Vaughan T.M., Wolpaw J.R. Mu and beta rhythm topographies during motor imagery and actual movements // Brain Topography. – 2000. Vol. 12, № 3. – P. 177–186. DOI: 10.1023/A:1023437823106.

5. Jeon Y., Nam C.S., Kim Y.-J., Whang M.C. Event-related (de)synchronization (ERD/ERS) during motor imagery tasks: implications for brain-computer interfaces // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2011. – Vol. 41, № 5. – P. 428–436. DOI: 10.1016/j.ergon.2011.03.005.

6. Tariq M., Trivailo P.M., Simic M. Mu-Beta event-related (de)synchronization and EEG classification of left-right foot dorsiflexion kinaesthetic motor imagery for BCI // PLOS ONE. – 2020. – Vol. 15, № 3. e0230184. DOI: 10.1371/journal.pone.0230184.

7. Schalk G., McFarland D.J., Hinterberger T., Birbaumer N., Wolpaw J.R. BCI2000: A general-purpose brain-computer interface (BCI) system // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2004. – Vol. 51, № 6. – P. 1034–1043.

8. Ramoser H., Müller-Gerking J., Pfurtscheller G. Optimal spatial filtering of single trial EEG during imagined hand movement // IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering. – 2000. – Vol. 8, № 4. – P. 441–446.

9. Liang W., Jin J., Xu R., Wang X., Cichocki A. Variance characteristic preserving common spatial pattern for motor imagery BCI // Frontiers in Human Neuroscience. – 2023. – Vol. 17. Art. 1243750. DOI: 10.3389/fnhum.2023.1243750.

10. Kanagaluru V., Sasikala M. Two Class Motor Imagery EEG Signal Classification for BCI Using LDA and SVM // Traitement du Signal. – 2024. – Vol. 41, № 5. – P. 2743–2749. DOI: 10.18280/ts.410547.

УДК 004.896

КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Степашкин Д.В., магистрант;
Хафизов И.И., к.т.н., доцент кафедры физики перспективных технологий и материаловедения ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-7161-4021;
E-mail: khafizov@kpfu.ru

COLLABORATIVE ROBOTS IN RUSSIAN INDUSTRY: PROSPECTS AND PRACTICE

Stepashkin D.V., Master's student;
Khafizov I.I., PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Physics of Advanced Technologies and Materials Science, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-7161-4021;
E-mail: khafizov@kpfu.ru

Аннотация

Статья посвящена анализу перспектив и практического применения коллаборативных роботов (коботов) в промышленности России. В работе рассмотрены:

– текущее состояние и прогноз развития рынка коботов;
– государственная поддержка роботизации;
– классификация коботов по ключевым критериям (грузоподъёмность, сфера применения, тип задач);
– практический пример выбора и внедрения кобота REDS C20 на предприятии-изготовителе;
– технические характеристики и состав робота REDS C20;
– классификация захватов для коботов и их применимость в различных производственных сценариях.

Рассмотрено внедрение коботов в архитектуру предприятия-изготовителя, что в дальнейшем способствует повышению гибкости производства, снижению трудозатрат и решению проблемы дефицита кадров. Подчёркнута роль государственной поддержки в развитии отрасли. Приведены примеры успешного использования коботов в разных отраслях промышленности. Сделан вывод о значительном потенциале роста рынка коботов в России до 2030 г.

Ключевые слова: коллаборативные роботы, коботы, роботизация промышленности, автоматизация производства, RED C20, грузоподъёмность коботов, классификация захватов, Индустрия 4.0, государственная поддержка роботизации, экономическая эффективность

Abstract

The article is devoted to the analysis of prospects and practical application of collaborative robots (cobots) in the Russian industry. The paper examines:

– the current state and forecast of the cobot market development;
– government support for robotization;
– classification of cobots by key criteria (payload capacity, application area, type of tasks);
– a practical example of selection and implementation of the REDS C20 cobot at a manufacturing enterprise;
– technical specifications and composition of the REDS C20 robot;
– classification of grippers for cobots and their applicability in various production scenarios.

The implementation of cobots into the architecture of a manufacturing enterprise is considered, which further contributes to increasing production flexibility, reducing labor costs, and solving the problem of personnel shortages. The role of government support in the development of the industry is emphasized. Examples of successful use of cobots in various industrial sectors are provided. It is concluded that the cobot market in Russia has significant growth potential until 2030.

Keywords: collaborative robots, cobots, industrial robotization, production automation, RED C20, cobot payload capacity, classification of grippers, Industry 4.0, government support for robotization, economic efficiency

Введение

Коботы – это роботы, предназначенные для совместной работы с человеком в одном пространстве, что позволяет автоматизировать процессы, которые невозможно полностью роботизировать. Их внедрение способствует повышению гибкости производства, снижению трудозатрат и решению проблемы дефицита кадров [1].

Эксплуатация коллаборативных роботов (коботов) в промышленности России находится в стадии активного развития и в настоящее время занимает небольшую долю рынка робототехники.

По данным консалтинговой компании Triada Partners ЦЦ [2], к 2024 г. мировой рынок коботов достиг $2,1 млрд, при этом в России наблюдался тренд на роботизацию промышленности (рис. 1, 2).

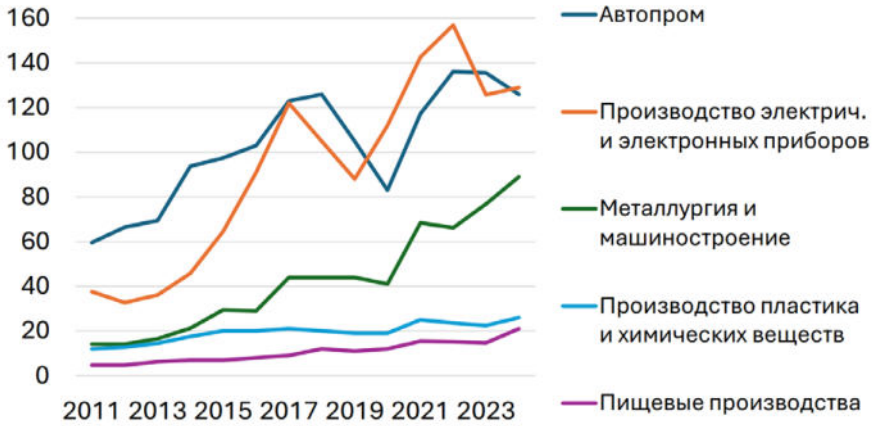


Рис. 1. Количество установок новых промышленных роботов по отраслям, тыс. шт.

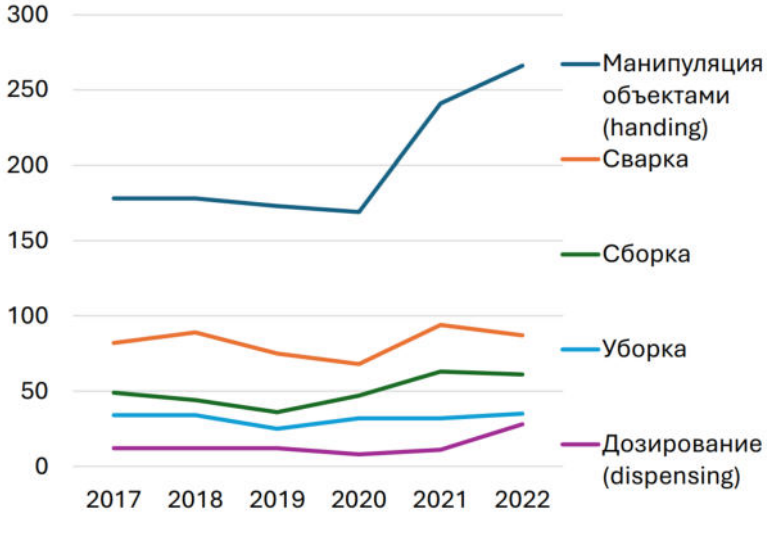


Рис. 2. Количество установок новых промышленных роботов по сферам применения, тыс. шт.

Минпромторг установил целевые показатели до 2030 г. – внедрение более 94 тыс. роботов на предприятиях, включая коллаборативных. Государство активно поддерживает роботизацию в рамках национальных проектов, например, «Технологическое лидерство: средства производства и автоматизация». Предусмотрены субсидии на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, льготные займы через Фонд развития промышленности (ФРП), льготный лизинг [1].

1. Классификация коллаборативных роботов

Коллаборативные роботы (коботы) в России классифицируются по нескольким критериям: грузоподъёмности, сфере применения, типу задач и производительности. Они активно внедряются в различные отрасли промышленности, заменяя человека на монотонных и опасных работах, повышая производительность и снижая риски ошибок [4].

По грузоподъёмности:

– лёгкие коботы (до 5 кг). Используются для точной работы, например, в электронике, медицине, лабораториях. Пример: PromPower R5 с грузоподъёмностью 5 кг и радиусом действия 750 мм;

– средние коботы (5–16 кг). Применяются для обслуживания станков, паллетирования, сварки. Например, РобоПро RC10 с грузоподъёмностью 10 кг и рабочим радиусом 1300 мм;

– тяжёлые коботы (свыше 16 кг). Используются для перемещения крупных заготовок, работы с ЧПУ-станками. Пример: PromPower R30 с грузоподъёмностью 30 кг и радиусом действия 1350 мм.

По сфере применения:

– металлообработка. Коботы обслуживают токарно-фрезерные, гибочные станки, участвуют в сварке и полировке деталей. Например, на заводе «Гибронт» в Екатеринбурге кобот Hanwha HCR-12 установили для обслуживания токарного центра Mazak. Это позволило одному оператору одновременно следить за двумя и более станками, увеличив общую производительность участка;

– автомобилестроение. Коботы наносят герметик на стёкла, выполняют операции завинчивания;

– пищевая промышленность. Коботы укладывают продукцию в короба и на паллеты, занимаются сортировкой;

– электроника. Коботы устанавливают элементы на печатные платы, наносят клеевые и термостойкие составы;

– химическая и косметическая промышленность. Коботы дозируют, упаковывают, работают с агрессивными веществами в контролируемых условиях.

По типу выполняемых задач:

– обслуживание станков. Коботы загружают и выгружают детали на металлообрабатывающие, токарные, фрезерные станки, термопластавтоматы;

– сварка и пайка. Например, коботы JAKA Zu 12 и JAKA Zu 3 используются для сварки и пайки металлических изделий;

– паллетирование и упаковка. Коботы укладывают продукцию на поддоны, сортируют товары, наносят маркировку;

– полировка и шлифовка. Коботы обрабатывают поверхности с поддержанием заданного контактного усилия и траектории движения.

2. Выбор коллаборативного робота для предприятия АО «УКБП»

В связи с активным внедрением роботов на промышленные заводы по всей России, рассмотрим пример по внедрению коллаборативного робота REDS C20 на предприятии АО «УКБП».

Руководством предприятия была поставлена задача по созданию лаборатории для проектирования и разработки решений по автоматизации технологических процессов производства изделий (от заготовок до готового изделия).

В ходе выполнения пилотного проекта в качестве решения был выбран модульный промышленный робот REDS C20 ф. TECHNORED (рис. 3).

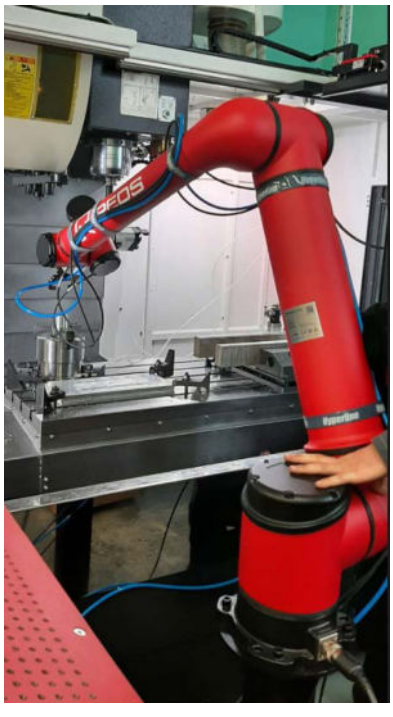


Рис. 3. Внешний вид коллаборативного робота REDS C20

Выбор обусловлен совокупностью нижеследующих преимуществ для предприятий с ограниченными и распределёнными площадями.

Большая рабочая зона при компактных размерах:

– радиус действия 1650 мм позволяет обслуживать обширную зону;

– компактная база не требует много места для установки – можно разместить рядом со станком, на верстаке или на потолке;

– вес 63 кг обеспечивает устойчивость, но не создаёт избыточной нагрузки на несущие конструкции;

Высокая грузоподъёмность в классе коботов:

– грузоподъёмность 20 кг – выше среднего для коллаборативных роботов;

– позволяет работать с более крупными деталями и упаковками, сокращая число циклов перемещения;

– подходит для задач паллетирования, перемещения заготовок, обслуживания станков с ЧПУ;

Точность и повторяемость:

– повторяемость позиционирования ±0,1 мм обеспечивает высокое качество выполнения задач;

– применим для точной сборки, дозирования, сварки, контроля качества;

– снижает процент брака – критично для мелкосерийного производства.

Безопасность совместной работы:

– соответствует стандартам ISO 10218 и ISO/TS 15066 для коллаборативных роботов;

– встроенные датчики силы и момента останавливают движение при контакте с человеком;

– не требует защитных ограждений – экономит пространство на ограниченных площадях;

– режимы безопасности: Safety Monitored Stop, Speed and Separation Monitoring, Power and Force Limiting (PFL).

Гибкость программирования и интеграции:

– поддержка нескольких языков программирования: C/C++, Lua, Python, API, ROS;

– визуальное блочное программирование для быстрой настройки без глубоких знаний кода;

– интерфейсы: Ethernet, Modbus-RTU/TCP, Profine (опционально);

– возможность подключения 16 цифровых и 4 аналоговых устройств ввода-вывода;

– легко интегрируется в существующие производственные линии и системы управления.

Адаптация к российским условиям:

– рабочий диапазон температур: от 0 до 50 °C – подходит для большинства цехов в России без дополнительных требований к помещениям;

– степень защиты IP54: защита от пыли и брызг воды – применим в условиях промышленного цеха;

– устойчивость к перепадам напряжения в сети;

– локальная техническая поддержка и сервис от TECHNORED.

Мобильность и универсальность применения:

– возможность быстрой перенастройки под новые задачи (в т.ч. через обучение методом демонстрации – Hand-Guiding);

– может использоваться на разных участках: упаковки, производственных площадях, склад готовой продукции;

– совместимость с различными захватами и инструментами (пневматическими, вакуумными, механическими).

Экономическая эффективность:

– срок окупаемости в пределах 1–3 лет за счёт снижения трудозатрат и повышения производительности;

– низкие затраты на обслуживание: не требует сложного техобслуживания, потребляет меньше энергии, чем традиционные промышленные роботы;

– уменьшение простоев благодаря автоматической диагностике и удалённому мониторингу.

Цифровая интеграция и мониторинг:

– подключение к системам промышленного интернета вещей (IIoT) и ERP-системам;

– удаленный контроль и настройка через сеть Ethernet;

– сбор данных о работе для оптимизации логистики и производства на распределённых площадках;

– возможность интеграции с системой технического зрения.

Поддержка и обучение:

– обучение специалистов через академию REDUNIVERSITY: курсы по программированию, настройке и эксплуатации кобот-систем;

– наличие русскоязычной документации и интерфейса;

– техническая поддержка на русском языке.

Захваты для роботов классифицируются по принципу действия, конструкции, способу управления и сфере применения. Для REDS C20 могут использоваться различные типы захватов, в зависимости от задач производства.

По принципу действия:

– механические (грейферные) захваты. Используют механические пальцы или губки, которые смыкаются вокруг объекта. Подходят для твёрдых объектов. Могут быть двухпальцевыми (для простых операций) или многопальцевыми (имитируют человеческую руку, позволяют точно брать предметы сложной формы);

– вакуумные захваты. Работают за счёт создания разрежения воздуха (вакуума), которое прижимает объект к поверхности захвата. Подходят для бережного обращения с изделиями (например, со стеклом, пластиком, картоном). Включают вакуумные присоски, насосы или эжекторы, систему управления давлением;

– магнитные захваты. Используют электромагнитное поле для удержания металлических деталей. Подходят для работы с крупногабаритными стальными заготовками;

– адаптивные (гибкие) захваты. Современные решения, способные изменять форму или силу захвата в зависимости от параметров объекта. Например, мягкие силиконовые захваты или пневматические «мышцы». Подходят для работы с разными формами без перенастройки.

По способу управления:

– неуправляемые (например, постоянные магниты или присоски, которые приходится вручную снимать с поверхности);

– командные (срабатывают после взаимодействия);

– программируемые (функционируют по сигналу системы);

– адаптивные (включают чувствительные датчики для идентификации объекта и принятия решений по месту, силе зажима и т.д.).

По конструкции:

– параллельные;

– поворотные;

– трёхточечные (для пневматических захватов).

3. Создание лаборатории для проектирования и разработки решений по автоматизации технологических процессов производства изделий

На основании ранее проведенного анализа в области роботизации и анализа возможных вариантов использования роботов при производстве, на предприятии-изготовителе было принято решение о создании лаборатории для проектирования и разработки решений по автоматизации технологических процессов производства изделий (от заготовок до готового изделия).

Разработан стенд промышленной автоматизации участка (цеха) механической обработки на фрезерных станках с помощью роботов-манипуляторов коллаборативного типа и автоматизированных транспортных средств. Для внедрения в технологические процессы предприятия и освоения компетенций в области робототехнических систем для дальнейшего коммерческого использования.

Стенд является совокупностью локальных систем и оборудования, объединенных в технологические участки по производственному принципу и обеспечивающих выполнение определенных операций. Структура стенда приведена на рис. 4.

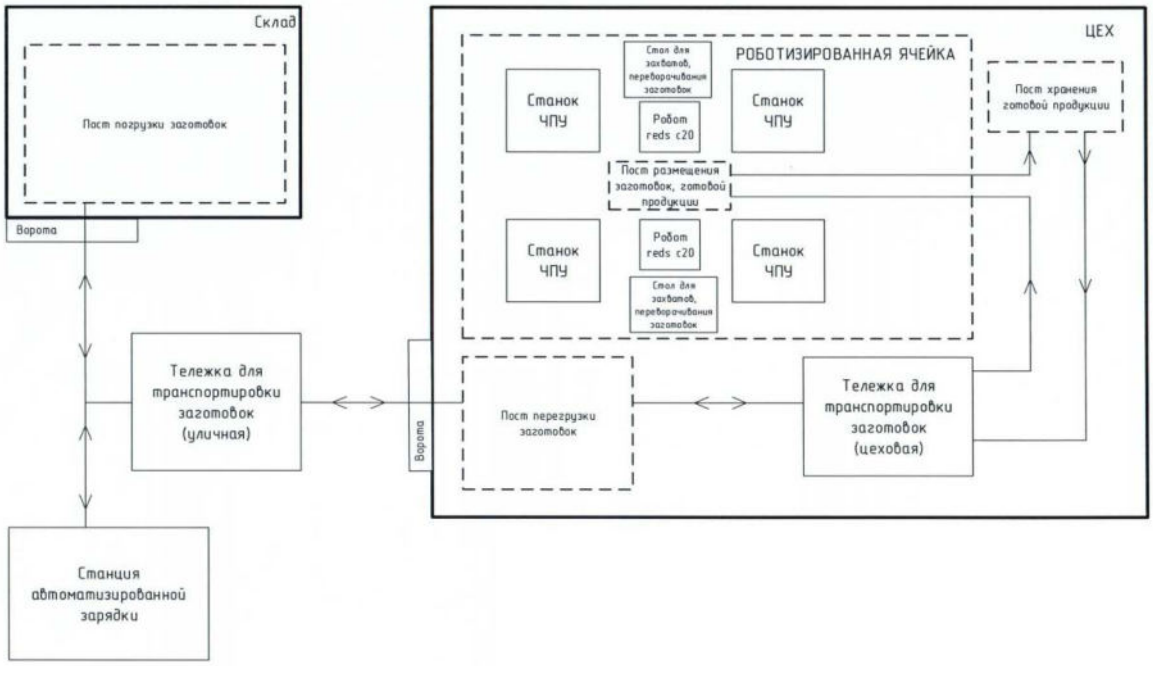


Рис. 4. Компоненты стенда с маршрутами движения тележек

– Тележка для транспортировки заготовок (уличная). Обеспечивает перемещение заготовок вне цеховых помещений.

– Станция автоматизированной зарядки. Обеспечивает зарядку постоянным напряжением тележку для транспортировки заготовок (уличная).

– Пост погрузки заготовок. Обеспечивает позиционирование тележки для транспортировки заготовок (уличная) и погрузку заготовок.

– Тележка цеховая. Обеспечивает перемещение заготовок и готовой продукции внутри цеховых помещений между точками перекладки.

– Пост перегрузки заготовок. Обеспечивает проезд тележки уличной через автоматические ворота, позиционирование тележек и перегрузку заготовок с уличной на цеховую.

– Пост размещения заготовок, готовой продукции. Обеспечивает позиционирование тележки цеховой для забора заготовок и размещения готовых изделий.

– Роботизированная ячейка. Обеспечивает взаимодействие поста размещения заготовок, готовой продукции с роботом-манипулятором TR C20 и станков с ЧПУ для изготовления готовых изделий из заготовок.

– Пост хранения готовой продукции. Обеспечивает складирование и хранение готовых изделий.

Стенд имитирует производственный процесс изготовления продукции в автоматизированном/автоматическом режиме от забора заготовок на посту погрузки до складирования готовых изделий на посту хранения.

Стенд выполняет следующие функции:

– работа в ручном (пошаговом) режиме: управление каждым компонентом стенда отдельно для обучения и отладки;

– работа в автоматическом режиме: циклическое выполнение технологического процесса без вмешательства оператора;

– взаимодействие компонентов стенда (рис. 4) должно осуществляться автоматически, используя таймеры времени, дискретные сигналы, метки, QR-коды (способы и порядок взаимодействия определяется в процессе разработки);

– работа стенда прекращается мгновенно в случаи аварийной ситуации. Возобновление работы стенда возобновляется после устранения причин аварийной ситуации.

В ходе реализации пилотного проекта по внедрению коллаборативного робота REDS C20 на предприятии было принято решение производить отладку стенда на 10 различных деталях имеющих специфическую конструкцию (различное количество отверстий и не ровную площадь) в связи с этим были разработаны собственные индивидуальные захваты для каждой детали (10 шт.).

Разработка собственных захватов было обусловлена следующими ключевыми факторами:

– высокой стоимостью коммерческих захватов, адаптированных к специфическим требованиям обработки деталей (включая требования к точности позиционирования, минимизации механического воздействия на хрупкие элементы и обеспечению чистоты рабочей зоны);

– значительные временные затраты на закупку готовых решений, включающие:

– сроки поставки от зарубежных производителей;

– время на согласование технических характеристик;

– длительность процедур тендеров и заключения контрактов;

– необходимость индивидуальной адаптации захватов к особенностям технологического процесса предприятия, включая:

– геометрические параметры деталей;

– требования к усилиям захвата;
– особенности интеграции с сопутствующим оборудованием.

Самостоятельная разработка захватов позволила:
– оптимизировать конструкцию под конкретные задачи работы с деталями;
– учесть специфику производственной среды предприятия;
– обеспечить требуемые параметры точности и надёжности захвата;
– минимизировать риск повреждения деталей в процессе производства.

4. Экономический эффект

Реализация данного подхода приводит к существенному снижению совокупной стоимости внедрения роботизированной линии технологического процесса:

– возможность отладки и внедрения автоматизированной линии на предприятии с большим количеством различной выпускаемой продукции без привлечения внешних интеграторов;
– сокращение времени внедрения автоматизированной линии на производстве;
– повышение компетенции сотрудников предприятия в сопровождении работоспособности автоматизированных линий, что снижает стоимость обслуживания.

5. Количественные показатели ожидаемого эффекта

– Снижение капитальных затрат на внедрение роботизированной линии на 5–15%;
– Сокращение сроков внедрения на 2–3 месяца за счёт исключения закупочного цикла;
– Уменьшение эксплуатационных расходов на обслуживание захватных устройств на 20–30% в долгосрочной перспективе.

Заключение

Таким образом, принятое решение о самостоятельной разработке захватов для робота REDS C20 при изготовлении выбранных изделий представляет собой экономически обоснованный и технологически целесообразный подход, обеспечивающий оптимизацию затрат и ускорение процесса внедрения роботизированной линии на предприятии. Это решение также повышает технологическую независимость производства и создаёт основу для дальнейшего развития собственных компетенций в области робототехнических систем.

Список литературы

1. Робот Грин – первый антропоморфный робот Сбербанка [Электронный ресурс]. – URL: https://sber.pro/special/nechelovecheskaya-sila-kak-robotizatsiya-menyaet-rossiiskii-biznes/ (дата обращения: 18.04.2026).

2. Восстания машин не будет: почему роботы пока не заменят людей // CNews [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-09-23_vosstaniya_mashin_ne_budet (дата обращения: 18.04.2026).

3. Артеменко, А. В. Роботизация бизнес-процессов: прогноз развития до 2026 года : презентация к докладу / А. В. Артеменко; Фонд экономических исследований «Центр развития» [Электронный ресурс]. – Москва, 2026. – URL: http://www.forecast.ru/_ARCHIVE/Presentations/Artemenko/HSE2026.pdf (дата обращения: 18.04.2026).

4. Коллаборативный робот-кобот RoboPRO RC-10 [Электронный ресурс] : карточка товара / ООО «РобоБ2Б». – URL: https://robob2b.ru/catalog/kollaborativnye-roboty-koboty/kollaborativnyy-robot-kobot-robopro-rc-10/ (дата обращения: 18.04.2026).

5. Коллаборативный робот REDS C20 Cobot [Электронный ресурс] : карточка товара / АО «ТехноРед». – URL: https://technored.ru/catalog/roboty_reds/kollaborativnye/kollaborativnyy_robot_reds_c20_cobot.html (дата обращения: 18.04.2026).

УДК 691.32:004.85

ПРИМЕНЕНИЕ И ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ И ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Сулейманов А.М., действительный член Академии наук Республики Татарстан, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы»;
ORCID: 0000-0001-7376-8043;
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru;
Мавлиева Н.Б., аспирант;
ORCID: 0009-0002-9546-5056;
E-mail: nelly.gerlinger@yandex.ru;
Николаева Р.В., к.т.н., доцент кафедры «Цифровые дорожные технологии»;
ORCID: 0000-0002-5324-432x;
E-mail: nikolaeva1@bk.ru;
Валеев М.Р., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия

APPLICATION AND REVIEW OF MODERN MACHINE LEARNING AND NEURAL NETWORK METHODS FOR PREDICTING THE PROPERTIES AND OPTIMIZING THE COMPOSITION OF CONCRETE MIXTURES

Suleimanov A.M., Full Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials;
ORCID: 0000-0001-7376-8043;
E-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru;
Mavlieva N.B., postgraduate student;
ORCID: 0009-0002-9546-5056;
E-mail: nelly.gerlinger@yandex.ru;
Nikolaeva R.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Road Technologies;
ORCID: 0000-0002-5324-432x;
E-mail: nikolaeva1@bk.ru;
Valeev M.R., Undergraduate Student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматривается применение современных методов машинного обучения и нейронных сетей для прогнозирования свойств и оптимизации состава бетонных смесей. Данное направление актуально для повышения эффективности проектирования строительных материалов, в том числе в дорожном строительстве. Цель работы состоит в систематизации подходов к использованию алгоритмов машинного обучения в бетоноведении и выработке практических рекомендаций по их применению. В рамках исследования проведен сравнительный анализ ключевых классов моделей, от классических регрессионных методов до ансамблевых алгоритмов (случайный лес, градиентный бустинг) и гибридных нейро-нечетких систем (ANFIS). Для каждого метода выделены преимущества и ограничения с учетом специфики задач материаловедения. Результаты работы демонстрируют, что выбор оптимального метода определяется приоритетами задачи: для инженерных расчетов, где важна прозрачность модели, предпочтительны интерпретируемые подходы, а для максимизации точности прогно-

за – ансамблевые и нейросетевые методы. Практическая значимость исследования заключается в возможности ускоренной и научно обоснованной оптимизации составов бетонных смесей, что способствует повышению надежности, долговечности и безопасности дорожных и иных строительных конструкций.

Ключевые слова: дорожное строительство, подбор состава бетонной смеси, прогнозирование свойств бетона, машинное обучение, оценка качества моделей.

Abstract

The article discusses the application of modern machine learning methods and neural networks for predicting the properties and optimizing the composition of concrete mixtures. This area is relevant for improving the efficiency of designing construction materials, including in road construction. The purpose of the work is to systematize approaches to using machine learning algorithms in concrete science and develop practical recommendations for their application. The study includes a comparative analysis of key model classes, from classical regression methods to ensemble algorithms (random forest, gradient boosting) and hybrid neuro-fuzzy systems (ANFIS). The advantages and limitations of each method have been identified, taking into account the specific requirements of materials science. The results of the study demonstrate that the choice of the optimal method depends on the priorities of the task: for engineering calculations where model transparency is important, interpretable approaches are preferred, while ensemble and neural network methods are used to maximize the accuracy of the prediction. The practical significance of the study lies in the possibility of accelerated and scientifically grounded optimization of concrete mixtures, which contributes to improving the reliability, durability, and safety of road and other construction structures.

Keywords: road construction, selection of concrete mix composition, prediction of concrete properties, machine learning, evaluation of model quality

1. Введение

При проектировании и строительстве автомобильных дорог выбор материала для покрытия имеет стратегическое значение, и бетон по совокупности технических и эксплуатационных параметров занимает в этом ряду ведущие позиции. Интеграция технологий искусственного интеллекта в строительную отрасль открывает новые возможности для создания высокоэффективных материалов, позволяя постепенно трансформировать процессы проектирования, оптимизации и контроля качества бетона на всех этапах его жизненного цикла [1, 2]. Бетон остается наиболее широко применяемым строительным материалом в мире, и от точности прогнозирования его свойств напрямую зависят надежность, долговечность и стоимость возводимых конструкций [3].

Традиционные методы проектирования составов бетонных смесей, основанные на эмпирических зависимостях, нормативных методиках подбора и многократных лабораторных испытаниях пробных замесов, при работе с многокомпонентными и модифицированными добавками смесями демонстрируют ограниченную точность и требуют значительных временных и материальных затрат [4, 5]. Итеративный характер традиционного подбора состава (изготовление, твердение и испытание серии образцов с последующей корректировкой рецептуры) затрудняет оперативное достижение оптимального баланса между прочностными характеристиками, удобоукладываемостью, стоимостью и экологической устойчивостью материала [6, 7].

Начало систематическому применению искусственных нейронных сетей в задачах прогнозирования свойств бетона было положено работой И.-Ч. Йе, в которой было показано, что модель на основе многослойного персептрона обеспечивает более высокую точность прогнозирования прочности высокоэффективного бетона на сжатие по сравнению с классическим регрессионным анализом [8]. Данная работа заложила методологическую основу для последующих исследований и до настоящего времени остается одной из наиболее цитируемых в данной области.

Последующее развитие направления привело к формированию широкого спектра подходов, различающихся типом используемого алгоритма и характером решаемой задачи. Систематический обзор применения методов машинного обучения в материаловедении бетона показывает, что помимо классических регрессионных моделей и многослойных нейронных сетей активно используются ансамблевые алгоритмы (случайный лес, градиентный бустинг и их модификации), а также гибридные архитектуры, объединяющие нейросетевой и нечеткий подходы.

Классические регрессионные модели устанавливают явную математическую зависимость между составом бетонной смеси и прогнозируемым свойством бетона в виде формулы (например, взвешенной суммы входных параметров) и отличаются простотой реализации и интерпретации. Однако их линейная структура плохо описывает сложные нелинейные взаимодействия между компонентами состава, которые характерны для физико-химических процессов твердения бетона.

Для учета таких нелинейностей целесообразно применять более гибкие модели, в частности, многослойные нейронные сети (многослойный персептрон), состоящие из последовательности слоев искусственных нейронов: каждый нейрон применяет нелинейную функцию активации к взвешенной сумме входных сигналов, что позволяет аппроксимировать зависимости, не поддающиеся описанию простыми формулами. Обучение сети заключается в итеративной настройке весов связей методом обратного распространения ошибки, благодаря чему модель способна выявлять сложные закономерности в данных о составах и свойствах бетона.

Тем не менее, на ограниченных экспериментальных выборках, типичных для бетоноведения, одиночные нейронные сети могут демонстрировать нестабильность прогноза и склонность к переобучению. В этой связи перспективным решением становятся ансамблевые алгоритмы, объединяющие прогнозы множества базовых моделей, как правило, деревьев решений, для получения более точного и устойчивого результата: в случайном лесе усредняются прогнозы независимо построенных деревьев, а в градиентном бустинге деревья строятся последовательно, исправляя ошибки предыдущих. За счет агрегации нескольких моделей ансамблевые алгоритмы, как правило, точнее классических регрессий и одиночных нейронных сетей на ограниченных наборах данных и менее склонны к переобучению.

Актуальность применения интеллектуальных методов в области строительного материаловедения обусловлена накоплением значительных массивов экспериментальных данных, развитием вычислительных мощностей и появлением специализированных программных инструментов, адаптированных для решения инженерных задач.

Целью настоящего исследования является систематизация современных подходов к применению методов машинного обучения и нейронных сетей для оптимизации состава бетонных смесей и прогнозирования свойств бетона.

В рамках поставленной цели решаются следующие задачи:

– провести сравнительный анализ основных методов машинного обучения, применяемых для прогнозирования свойств бетона;

– описать типовую методологию формирования и валидации прогнозных моделей, и проанализировать результаты их практического применения.

2. Материалы и методы

Материалами для настоящего исследования послужили опубликованные результаты исследований в области применения методов машинного обучения для прогнозирования свойств бетона, включая работы, посвященные прогнозированию прочности на сжатие, оценке долговечности (хлоридной проницаемости) и вопросам интерпретируемости моделей [9, 10]. В качестве метода исследования использован сравнительный анализ методологических подходов, применяемых в рассмотренных публикациях.

На основе этого анализа была обобщена типовая методология построения прогнозных моделей, которая включает несколько последовательных этапов, они наглядно представлены на рис. 1:

– формирование репрезентативной выборки экспериментальных данных о составе и свойствах бетона;

– предварительная обработка данных, включающая нормализацию числовых признаков и фильтрацию аномальных значений;

– обучение прогнозной модели выбранной архитектуры;

– валидация модели методом перекрестной проверки с последующей, при необходимости, корректировкой гиперпараметров.

Формирование обучающих выборок, как правило, базируется на агрегации данных, накопленных в ходе ранее опубликованных экспериментальных исследований: например, при построении моделей прогнозирования хлоридной проницаемости бетона использовалась объединенная выборка из более чем тысячи наблюдений, собранных из разных источников [6]. Для обеспечения устойчивости и точности прогнозов исходные данные подвергаются нормализации и фильтрации выпадающих значений, что минимизирует риск переобучения модели и повышает устойчивость оценок к шуму в данных.



Рис. 1. Типовая методология построения и валидации прогнозной модели машинного обучения для задач материаловедения бетона (иллюстрация автора)

Эффективность прогнозирования эксплуатационных характеристик бетона во многом определяется выбором модели машинного обучения. В табл. 1 приведена сравнительная оценка ключевых методов по критериям точности, интерпретируемости и практической реализуемости.

Анализ таблицы 1 демонстрирует, что выбор метода машинного обучения для прогнозирования свойств бетона определяется приоритетами задачи: при необходимости прозрачной интерпретации зависимостей предпочтительны классические регрессионные модели, тогда как для достижения максимальной точности целесообразно применять ансамблевые алгоритмы. При этом эффективность любого подхода существенно зависит от объема и качества исходных данных, а также от специфики моделируемого свойства материала. Оптимальным решением в ряде случаев может стать комбинирование методов, позволяющее сбалансировать точность прогноза и интерпретируемость результатов.

3. Результаты и обсуждение

В рамках проведенных исследований была выполнена валидация построенных прогнозных моделей для оценки физико-механических свойств бетона методом перекрестной проверки (k-fold cross-validation). Такой метод дает возможность достоверно проверить, насколько алгоритм способен обобщать результаты: для валидации поочередно задействуют разные части экспериментальных данных, при этом доля данных, остающихся для обучения модели, уменьшается незначительно. Это особенно актуально в исследованиях бетона – число надежных лабораторных данных нередко невелико, а проведение новых испытаний связано со значительными затратами.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов машинного обучения, применяемых для прогнозирования свойств бетона

№ п/п	Класс метода	Представители	Основные преимущества	Основные ограничения
1	Классическая регрессия	Множественная линейная и нелинейная регрессия	Высокая интерпретируемость модели (явная аналитическая форма зависимости «состав – свойство»); простота реализации и калибровки; минимальные вычислительные затраты	Низкая способность к описанию сложных нелинейных и многофакторных взаимодействий компонентов бетонной смеси; риск систематического смещения прогноза при выходе за пределы линейной аппроксимации
2	Искусственные нейронные сети	Многослойный персептрон (MLP)	Способность аппроксимировать сложные нелинейные зависимости, включая эффекты синергии компонентов и пороговые эффекты; высокая гибкость структуры модели	Высокие требования к объему и репрезентативности обучающей выборки; низкая интерпретируемость («черный ящик»); чувствительность к настройке гиперпараметров и риску переобучения
3	Ансамблевые алгоритмы машинного обучения	Случайный лес (Random Forest), градиентный бустинг (XGBoost, LightGBM)	Высокая прогностическая точность и устойчивость к переобучению за счет агрегации множества базовых моделей; способность эффективно работать с разнородными признаками и ограниченным объемом данных	Повышенная вычислительная сложность обучения и прогнозирования; сложность интерпретации итоговой модели (по сравнению с линейной регрессией); риск ухудшения обобщающей способности при сильной коррелированности признаков
4	Гибридные нейро-нечеткие системы	ANFIS (адаптивные нейро-нечеткие системы вывода)	Комбинация обучаемости нейронных сетей с интерпретируемостью нечетких логических правил; возможность интеграции экспертных знаний в структуру модели	Высокая чувствительность к выбору архитектуры нечеткой системы, параметров функций принадлежности и обучающего алгоритма; трудоемкость настройки и риск нестабильности при неоптимальных параметрах

Точность прогнозирования оценивалась по метрикам, адаптированным для решения задач в материаловедении: коэффициенту детерминации (R^2), среднеквадратичной ошибке (RMSE) и средней абсолютной ошибке (MAE).

Использование указанного комплекса метрик обеспечивает объективное сравнение эффективности моделей (в том числе классических регрессий, нейронных сетей и ансамблевых алгоритмов) и гарантирует сопоставимость результатов с данными других исследовательских групп, что является необходимым условием воспроизводимости научных выводов в области прогнозирования свойств строительных материалов.

Сопоставление восьми алгоритмов машинного обучения на едином наборе данных из 1030 образцов бетона показало, что ансамблевые методы градиентного бустинга (в частности, XGBoost) обеспечивают наиболее высокую точность прогнозирования прочности на сжатие по сравнению с линейными моделями и одиночными деревьями решений. Данный результат согласуется с общей тенденцией, отмечаемой в обобщающих обзорах применения машинного обучения в материаловедении бетона.

Анализ значимости входных признаков, выполненный на основе интерпретируемых моделей (деревьев градиентного бустинга, случайного леса и нейронных сетей обратного распространения, обученных на выборке из 223 образцов бетона) показал, что расход вяжущего оказывает наибольшее влияние на прогнозируемую прочность, за которым следуют содержание воды, водоредуцирующей добавки, золы-уноса и заполнителей, при этом между указанными факторами наблюдаются значимые эффекты взаимодействия. Полученный результат находится в соответствии с базовыми положениями теории формирования структуры цементного камня. При этом методы машинного обучения позволяют численно определять влияние малозначимых факторов, в традиционных эмпирических подходах учесть такие параметры зачастую не удается из-за ограничений.

Практическая значимость анализируемых методов подтверждается их эффективностью при оценке долговечности бетонных материалов. Так, использование ансамблевых алгоритмов (в частности, случайного леса, LightGBM и XGBoost) на базе обширной экспериментальной выборки (свыше 1000 наблюдений) обеспечило прогноз коэффициента хлоридной проницаемости с точностью до 0,97. Это свидетельствует о перспективности применения подобных моделей для анализа надежности бетонных конструкций при эксплуатации в агрессивных средах.

Несмотря на продемонстрированную точность, широкое практическое внедрение рассмотренных подходов сопряжено с рядом ограничений. Ключевой проблемой остается неоднородность и ограниченный объем доступных экспериментальных данных, собранных в различных лабораторных условиях, что снижает переносимость обученных моделей на новые сырьевые базы и производственные условия. Значимым ограничением также является недостаточная интерпретируемость сложных моделей, функционирующих по принципу «черного ящика»: сопоставление восьми моделей с применением методов объяснимого искусственного интеллекта показало, что, несмотря на более высокую точность ансамблевых алгоритмов, их результаты требуют дополнительной интерпретации для практического использования инженерами, что обусловило растущий интерес к таким методам, как SHAP (Shapley Additive Explanations), позволяющим количественно оценивать вклад отдельных признаков в итоговый прогноз.

Дополнительную сложность создает значительная региональная и производственная вариативность свойств исходных материалов (цемента, заполнителей, химических добавок) вследствие которой модель, обученная на данных одного региона или предприятия, не всегда сохраняет точность при переносе на иные условия. Преодоление данного ограничения связывается с развитием методов трансферного обучения, расширением и стандартизацией обучающих выборок, а также разработкой универсальных методологических рекомендаций по построению и валидации прогнозных моделей в области материаловедения бетона.

Обобщающий анализ методов оптимизации состава бетонных смесей показывает, что в подобных постановках прогнозная модель машинного обучения используется в качестве суррогатной функции, аппроксимирующей зависимость свойств бетона от состава и заменяющей дорогостоящие натурные эксперименты в цикле поиска оптимального решения, что позволяет существенно сократить количество требуемых лабораторных испытаний по сравнению с традиционным итеративным подбором рецептуры. Именно это направление представляется наиболее перспективным с точки зрения практической автоматизации инженерного проектирования состава бетонных смесей, поскольку объединяет точность прогнозирования, характерную для рассмотренных выше моделей, с возможностью направленного поиска решения, удовлетворяющего одновременно нескольким конкурирующим требованиям.

4. Заключение

Результаты проведенных исследований показывают перспективность использования методов машинного обучения для оптимизации составов бетонных смесей в дорожном строительстве. При этом применение ансамблевых алгоритмов позволяет надежно прогнозировать ключевые эксплуатационные характеристики бетона (прочность, долговечность) даже при относительно небольшом объеме исходных данных.

При этом для принятия проектных решений критически важна не только точность прогноза, но и прозрачность модели, поэтому рациональной стратегией представляется комбинирование методов: использование интерпретируемых моделей на этапе первичного анализа факторов и более сложных алгоритмов для финальной оптимизации.

Валидация моделей посредством k-fold cross-validation и оценка по стандартным метрикам обеспечивают объективную проверку качества прогноза и позволяют интегрировать такие модели в инженерные расчеты, направленные на повышение безопасности и долговечности дорожной инфраструктуры.

Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в обосновании целесообразности интеграции интеллектуальных методов прогнозирования в инженерную практику проектирования составов бетона, что открывает возможность сокращения временных и материальных затрат на лабораторный подбор рецептур, включая перспективу создания автоматизированных программных инструментов контроля и подбора состава.

Список литературы

1. Саматов, Д. Л. Автоматизация подбора марки битумного вяжущего с учетом температурных условий и транспортных нагрузок / Д. Л. Саматов, К. Р. Хузиахметова, Л. Ф. Мавлиев, В. В. Мокшин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – № 3(73). – С. 331-340. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/73.28. – EDN WCHOEC.

2. Li Z., Yoon J., Zhang R., Rajabipour F., Srubar W.V. III, Dabo I., Radlińska A. Machine learning in concrete science: applications, challenges, and best practices. *Computational Materials*. 2022; 8: P. 127. DOI: 10.1038/s41524-022-00810-x (in USA).

3. Максимов, В. А. Современные методы герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий автомобильных дорог / В. А. Максимов, В. В. Ушаков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – № 2 (72). – С. 245-257. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/72.22. – EDN NNSBHP.

4. DeRousseau M. A., Kasprzyk J. R., Srubar W.V. Computational design optimization of concrete mixtures: a review. *Cement and Concrete Research*. 2018; 109: P. 42–53. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.04.007 (in USA).

5. Петропавловских, О. К. Разработка программы испытаний по определению долговечности деревянных нагельных соединений с металлическими и полимеркомпозитными стержнями / О. К. Петропавловских, Е. В. Новицкий, А. А. Гурьянов // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2026. – № 1 (13). – С. 14-21. – EDN EPBPDV.

6. Суворов, Д. Н. Алгоритм автоматизированного контроля и корректировки технологических параметров производства асфальтобетонных смесей на основе анализа данных о свойствах компонентов / Д. Н. Суворов, М. Х. Базарбаев // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 12 (132). – EDN VLTAZR.

7. Степанов, С. В. Применение модифицирующих добавок в мостовом бетоне / С. В. Степанов, О. К. Петропавловских, М. А. Копылов // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2025. – № 1(9). – С. 28-35. – EDN HFTFDE.

8. Yeh I.-C. Modeling of strength of high-performance concrete using artificial neural networks. *Cement and Concrete Research*. 1998; 28 (2): P. 1797–1808. DOI: 10.1016/S0008-8846(98)00165-3 (in Taiwan).

9. Fu H., Zhou X., Xu P., Sun D. Prediction of Compressive Strength of Concrete Using Explainable Machine Learning Models. *Materials*. 2025; 18 (21): P. 5009. DOI: 10.3390/ma18215009 (in China).

10. Elhishi S., Elashry A.M., El-Metwally S. Unboxing machine learning models for concrete strength prediction using XAI. *Scientific Reports*. 2023; 13: P. 19892. DOI: 10.1038/s41598-023-47169-7 (in Egypt).

УДК 004.932.2:656.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ДОРОЖНОЙ СЦЕНЫ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

Сытник А.С., к.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-2911-5819;
E-mail: assytnik@kai.ru;
Жданов А.С., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-2901-9108;
E-mail: cazhdanov@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURES FOR ROAD-SCENE SEGMENTATION UNDER LIMITED VISIBILITY

Sytnik A.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-2911-5819;
E-mail: assytnik@kai.ru;
Zhdanov A.S., Master's student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-2901-9108;
E-mail: cazhdanov@mail.ru

Аннотация

Качество семантической сегментации дорожной сцены, достигнутое на дневных изображениях, не позволяет судить о надежности системы в тумане, при дожде, снегопаде и недостаточном освещении. Цель исследования – установить, какие архитектурные решения лучше сохраняют точность при ухудшении видимости и как выбирать модель с учетом вычислительных ограничений транспортной системы. Работа объединяет качественное сопо-

ставление сверточных и трансформерных нейронных сетей с воспроизводимым вторичным анализом результатов эталонного набора Cityscape-Adverse. Рассмотрены механизмы U-Net, DeepLabV3+, SegFormer и SegMAN; количественная выборка включает DeepLabV3+, SegFormer, SETR и Mask2Former, оцененные авторами исходной публикации по единому протоколу. В качестве основной метрики использовано среднее пересечение над объединением (англ. mean Intersection over Union, mIoU). Дополнительно рассчитаны коэффициент сохранения качества относительно исходного домена, минимальный mIoU среди дождя, тумана, снега и ночи, а также стандартное отклонение между указанными условиями. Mask2Former показал максимальный средний mIoU по восьми неблагоприятным доменам – 68,2%, лучший результат в худшем из четырех целевых условий – 62,8% и наименьшее междоменное отклонение – 3,61 процентного пункта. SETR сохранил 87,6% исходного качества и по этому относительному показателю превзошел Mask2Former, сохранивший 82,6%. У DeepLabV3+ коэффициент сохранения составил 64,3%, а на снежных сценах mIoU снизился до 22,3%. Снег оказался наиболее сложным условием для каждой модели. Результаты показывают, что глобальный контекст связан с меньшей междоменной изменчивостью, однако не подтверждают существование универсально лучшей архитектуры. Для высокопроизводительного контура обоснован выбор Mask2Former; для бортовой платформы SegFormer представляет более реалистичную кандидатуру. SegMAN следует рассматривать как перспективную, но пока не подтвержденную на выбранном наборе альтернативу. Предложен единый протокол последующей экспериментальной проверки четырех моделей на реальных и синтетически измененных дорожных сценах.

Ключевые слова: семантическая сегментация, дорожная сцена, ограниченная видимость, неблагоприятные погодные условия, сверточная нейронная сеть, трансформер, робастность, интеллектуальная транспортная система

Abstract

Semantic road-scene segmentation scores obtained from clear daytime images do not directly indicate whether a perception system will remain reliable in fog, rain, snow, or low illumination. The study examines architectural decisions that preserve accuracy under limited visibility and support model selection under computing constraints. It combines a qualitative architecture comparison with a reproducible secondary analysis of the Cityscape-Adverse benchmark. The review covers U-Net, DeepLabV3+, SegFormer, and SegMAN, while the quantitative subset includes DeepLabV3+, SegFormer, SETR, and Mask2Former evaluated under a common protocol. Mean Intersection over Union (mIoU) is used as the primary metric. The additional measures are the clean-domain quality-retention ratio, the minimum mIoU across rain, fog, snow, and night, and the standard deviation among these conditions. Mask2Former achieves the highest mean mIoU across eight adverse domains at 68.2%, the strongest worst-condition score at 62.8%, and the lowest cross-domain standard deviation at 3.61 percentage points. SETR retains 87.6% of its clean-domain score compared with 82.6% for Mask2Former. DeepLabV3+ retains 64.3%, while its mIoU falls to 22.3% on snow scenes, which are the most difficult for every model. The findings associate global-context modelling with lower cross-domain variability but do not establish a universally superior architecture. Mask2Former is the best-supported choice for a high-performance processing environment, whereas SegFormer provides a more realistic starting point for an embedded platform. SegMAN remains promising, but its robustness has not been confirmed on the selected benchmark. A common protocol is proposed for training, hardware profiling, and validation on real and synthetically modified road scenes.

Keywords: semantic segmentation, road scene, limited visibility, adverse weather, convolutional neural network, transformer, robustness, intelligent transport system

Введение

В опубликованном наборе Cityscape-Adverse модель DeepLabV3+ получает 79,6% среднего пересечения над объединением на исходных изображениях и только 22,3% на сценах со

снегом [1]. Разрыв в 57,3 процентного пункта показывает практическую проблему точнее, чем сравнение рекордных результатов на благоприятных данных: архитектура может хорошо распознавать дорожную сцену и одновременно терять рабочую пригодность при закрытой разметке, бликах и снижении контраста. Для обнаружения транспортных средств и восстановления траекторий важны средняя точность и поведение модели в наиболее сложном режиме.

Семантическая сегментация присваивает каждому пикселю изображения класс объекта – дороги, тротуара, транспортного средства, пешехода или элемента инфраструктуры [2]. Наиболее распространенным эталонным источником для городских сцен остается Cityscapes (англ. cityscapes – «городские пейзажи»), включающий 5000 изображений с точной попиксельной разметкой и 20 000 кадров с грубой разметкой [3]. Однако этот набор преимущественно отражает дневную съемку при благоприятной погоде. Следовательно, результат на Cityscapes характеризует исходный домен, но не заменяет проверку устойчивости к изменению условий.

Сегментационная маска может служить промежуточным представлением при моделировании транспортно-коммуникационного пространства: она отделяет динамические объекты от дорожной инфраструктуры и уменьшает объем визуальных данных, передаваемых алгоритмам сопровождения. Вопросы формального представления дорожных сущностей и правил рассматривались ранее с участием автора [4]. В настоящей работе акцент перенесен на предшествующий этап – устойчивое извлечение объектов из изображения при ограниченной видимости.

Исследовательский вопрос сформулирован следующим образом: какие механизмы архитектуры связаны с сохранением качества при дожде, тумане, снеге и ночью и какая модель предпочтительна при разных ограничениях? Для ответа сопоставлены сверточные сети и трансформеры, а опубликованные измерения дополнены показателями относительной сохранности, худшего условия и междоменной изменчивости.

1. Архитектурные механизмы устойчивой сегментации

Сверточные нейронные сети (англ. Convolutional Neural Networks, CNN) извлекают признаки из локальной окрестности пикселя. Их сильная сторона – восстановление границ и пространственной структуры. U-Net (англ. U-shaped Network – сеть U-образной формы) построена как связка кодировщика и декодировщика: кодировщик уменьшает пространственное разрешение и накапливает признаки, а декодировщик возвращает разрешение маски. Пропускающие связи передают в декодировщик детали ранних слоев [4]. Архитектура удобна как прозрачная базовая модель, но локальные признаки могут становиться ненадежными, когда снег скрывает текстуру дороги или ночной шум изменяет контуры объектов.

DeepLabV3+ расширяет область анализа с помощью пространственного пирамидального объединения с разреженными свертками (англ. Atrous Spatial Pyramid Pooling, ASPP). Разреженная, или дилатированная, свертка увеличивает поле восприятия без дополнительного уменьшения карты признаков, а декодер уточняет границы [6]. В результате модель учитывает несколько масштабов. При этом механизм остается зависимым от качества локальных ответов: расширение поля восприятия само по себе не гарантирует устойчивость к сильному изменению внешнего вида сцены.

Трансформерные модели строят связи между удаленными участками изображения с помощью самовнимания (англ. self-attention). SegFormer, то есть Segmentation Transformer («трансформер сегментации»), использует иерархический кодировщик Mix Transformer – «смешивающий трансформер» – и компактный декодировщик на основе многослойного перцептрона (англ. Multilayer Perceptron, MLP) [7]. Многоуровневые карты признаков позволяют совместить мелкие границы и общий контекст. Отказ от абсолютного позиционного кодирования также уменьшает зависимость от размера входного изображения.

SegMAN расшифровывается как Segmentation Mamba Network – сегментационная сеть на основе модели Mamba. В ней локальное внимание объединено с моделями пространства состояний (англ. State Space Models, SSM), которые обрабатывают протяженный контекст с

линейной зависимостью затрат от числа элементов. Блок LASS (англ. Local Attention and State Space – локальное внимание и пространство состояний) отвечает за признаки кодировщика, а модуль MMSCoPE (англ. Mamba-based Multi-Scale Context Extraction – многомасштабное извлечение контекста на основе Mamba) формирует контекст декодера [8]. Такое сочетание выглядит перспективно для дорожных сцен, однако опубликованного прямого сравнения SegMAN на Cityscape-Adverse нет. Поэтому включать ее в численный рейтинг было бы методологически неверно.

Для выбора существенны способ сохранения границ, масштаб контекста и полнота эмпирической проверки. Эти различия сведены в табл. 1.

Таблица 1

Архитектурные основания для выбора модели

Архитектура	Тип	Контекст и границы	Статус в анализе
U-Net	Сверточная	Пропускающие связи сохраняют локальные детали	Качественная база; нет общего протокола
DeepLabV3+	Сверточная	ASPP объединяет несколько масштабов	Включена в количественное сравнение
SegFormer	Трансформерная	Иерархия признаков и глобальные связи	Включена в количественное сравнение
SegMAN	Гибридная	Локальное внимание и линейный глобальный контекст	Перспективна; прямой проверки нет

2. Данные и метод вторичного анализа

Для проверки моделей в реальных неблагоприятных условиях разработан ACDC (англ. Adverse Conditions Dataset with Correspondences – набор неблагоприятных условий с соответствиями). Он содержит 4006 изображений тумана, ночи, дождя и снега; неблагоприятному кадру сопоставлен вид той же сцены при нормальной видимости [9]. Такая структура помогает оценивать доменный сдвиг, то есть изменение распределения данных между обучением и эксплуатацией. Однако не все интересующие архитектуры представлены в публикации ACDC по одному протоколу.

Поэтому численная часть основана на Cityscape-Adverse – эталонном наборе, где изображения Cityscapes изменены генеративной диффузионной моделью при сохранении исходных масок [1]. Авторы сформировали восемь доменов: дождь, туман, весна, осень, снег, солнечная погода, ночь и рассвет. Из одной таблицы источника извлечены результаты DeepLabV3+, SegFormer, SETR и Mask2Former. SETR (англ. SEgmentation TRansformer – трансформер сегментации) интерпретирует задачу как преобразование последовательности элементов изображения в последовательность классов [10]. Mask2Former (англ. Masked-attention Mask Transformer – масочный трансформер с ограниченным вниманием) направляет внимание на область предсказанной маски и решает несколько задач сегментации в общей архитектуре [11].

U-Net и SegMAN исключены из количественной таблицы. Для них доступны результаты на других наборах или при иных настройках, но объединение таких значений создало бы видимость точного сравнения. Это ограничение определило границу исследования: четыре архитектуры обсуждаются как варианты проектного решения, а численный вывод относится только к четырем моделям, измеренным совместно в [1].

Качество сегментации класса C оценивалось пересечением над объединением (англ. Intersection over Union, IoU): отношением числа пикселей, одновременно принадлежащих ис-

тинной и предсказанной маскам, к числу пикселей в их объединении. Среднее по C классам образует mIoU, формула 1.

$$IoU = \frac{TP}{TP + FP + FN}; mIoU = \left(\frac{1}{C}\right) \cdot \sum_{i=1}^{C} IoU_i \quad (1)$$

Здесь TP – число истинно положительных пикселей, FP – ложноположительных, FN – ложноотрицательных. Одного среднего значения недостаточно для сравнения поведения при ухудшении видимости. Поэтому для каждой модели рассчитаны три производных показателя [1]. Коэффициент R показывает, какая доля исходного качества сохранилась в среднем по восьми измененным доменам, формула 2.

$$R = 100 \cdot \frac{mIoU(a)}{IoU(0)} \quad (2)$$

Показатель W (англ. worst case – худший случай) равен минимальному mIoU среди дождя, тумана, снега и ночи, формула 3. Показатель S характеризует стабильность и вычисляется как стандартное отклонение mIoU между этими четырьмя условиями; меньшее S соответствует более ровному поведению, формула 4.

$$W = \min[mIoU(rain), mIoU(fog), mIoU(snow), mIoU(night)]; \quad (3)$$

$$S = stdev(\cdot). \quad (4)$$

Расчеты выполнены программой на языке Python по исходной таблице в формате CSV (англ. Comma-Separated Values – значения, разделенные запятыми). Скрипт считывает опубликованные величины, формирует R, W и S и строит диаграммы. Таким образом, практическая часть воспроизводит аналитические операции, но не приписывает работе собственное обучение нейросетей.

3. Результаты

На рис. 1 исходная точность сопоставлена со средним результатом по восьми измененным доменам и с худшим результатом среди четырех целевых условий. Снижение наблюдается у всех моделей, но его масштаб различается: у DeepLabV3+ средний mIoU уменьшается на 28,4 пункта, у SegFormer – на 15,3, у SETR – на 9,6, у Mask2Former – на 14,4 пункта.



Рис. 1. Точность и устойчивость моделей по данным Cityscape-Adverse

Mask2Former имеет наибольший средний mIoU в неблагоприятных доменах – 68,2%. SETR уступает ему всего 0,2 пункта, но сохраняет 87,6% исходного качества против 82,6% у Mask2Former. Это меняет интерпретацию рейтинга: Mask2Former лидирует по достигнутой абсолютной точности, а SETR – по относительному сохранению собственной исходной точности.

SegFormer занимает промежуточную позицию: 61,2% среднего mIoU и R = 80,0%. Его преимущество над DeepLabV3+ составляет 10,0 пункта, несмотря на более низкий исходный результат. Это согласуется с пользой глобального контекста, но не доказывает превосходство всех трансформеров: в выборке представлена только одна сверточная модель (табл. 2).

Таблица 2

Производные показатели устойчивости моделей

Модель	Исходный mIoU, %	Средний mIoU: 8 доменов, %	R, %	W, %	S, п. п.
DeepLabV3+	79,6	51,2	64,3	22,3	16,52
SegFormer	76,5	61,2	80,0	46,9	7,90
SETR	77,6	68,0	87,6	61,4	4,15
Mask2Former	82,6	68,2	82,6	62,8	3,61

По худшему условию и междоменной стабильности первое место занимает Mask2Former: W = 62,8%, S = 3,61 пункта. Близкий результат SETR – W = 61,4%, S = 4,15 пункта – достигается при заметно большей вычислительной цене. В профилировании источника SETR обрабатывал 0,39 кадра в секунду и использовал 24,06 Гбайт памяти; для DeepLabV3+, SegFormer и Mask2Former указаны соответственно 3,94; 4,74 и 5,57 кадра в секунду [1]. Эти значения не дают строгого аппаратного сравнения из-за различий входных фрагментов и опорных сетей, но лишь подтверждают высокие ресурсные требования SETR.

На рис. 2 отдельно показаны дождь, туман, снег и ночь. Снег дает минимальный mIoU у каждой модели: 22,3% у DeepLabV3+, 46,9% у SegFormer, 61,4% у SETR и 62,8% у Mask2Former. Вероятная причина – одновременное изменение текстуры, освещения и геометрической видимости: снег не только снижает контраст, но и закрывает границы проезжей части и разметку.



Рис. 2. mIoU моделей при дожде, тумане, снеге и ночью

Размах между лучшим и худшим из четырех условий составляет 43,8 пункта для DeepLabV3+ и 10,1 пункта для Mask2Former. Следовательно, преимущество глобального контекста проявляется не только в среднем результате, но и в меньшей чувствительности к типу искажения. Для системы, влияющей на построение траекторий, такая предсказуемость может быть важнее небольшого выигрыша на исходной сцене.

4. Выбор архитектуры и границы выводов

Для высокопроизводительного вычислителя наиболее обоснован Mask2Former. У него максимальный средний mIoU, лучшее значение W и минимальное S. Выбор SETR ради небольшого относительного преимущества по R трудно оправдать без отдельного требования к сохранению доли исходного качества: модель медленнее и требует больше памяти.

Для платформы с ограниченной памятью практической исходной кандидатурой является SegFormer. Он заметно устойчивее DeepLabV3+ и в опубликованном профилировании требует 3,64 Гбайт памяти. Однако это не готовая оценка для конкретного устройства. Перед внедрением необходимо измерить задержку вывода (англ. inference latency – время получения предсказания), энергопотребление и память на целевом вычислителе при одинаковом разрешении изображения.

SegMAN нельзя рекомендовать как установленного победителя. Архитектура интересна тем, что объединяет локальное внимание с глобальным контекстом при линейной вычислительной сложности, но ее устойчивость к снегу и ночной съемке в выбранном протоколе не измерена. Корректная формулировка для проектного решения – «кандидат на прямое испытание», а не «лучшая модель».

Следующий эксперимент должен проводиться в одной программной и аппаратной среде. В него целесообразно включить U-Net и DeepLabV3+ с одинаковой опорной сетью ResNet-50 (англ. Residual Network – остаточная сеть из 50 слоев), а также SegFormer-B2 и SegMAN-S. Модели обучаются на одном разбиении Cityscapes, после чего проверяются на Cityscape-Adverse и ACDC. Различные погодные версии одной сцены не должны попадать одновременно в обучающую и контрольную части.

Для каждой конфигурации необходимы не менее трех запусков, доверительные интервалы по изображениям и бутстреп-проверка (англ. bootstrap – повторная выборка с возвращением). Помимо общего mIoU следует контролировать IoU пешеходов, велосипедистов, транспортных средств, дорожных знаков и светофоров – классов, влияющих на восстановление траекторий.

Ограничения проведенного анализа связаны с вторичным характером данных, синтетическим происхождением изменений Cityscape-Adverse, одной сверточной моделью в численной выборке и несопоставимыми условиями профилирования. Поэтому обнаруженная связь между глобальным контекстом и устойчивостью является эмпирическим наблюдением для выбранного набора, а не доказанной причинной закономерностью. Проверка на реальных сценах ACDC остается обязательной.

Заключение

Сравнение показало, что результат на благоприятных изображениях недостаточен для выбора архитектуры сегментации дорожной сцены. В Cityscape-Adverse Mask2Former получил 68,2% среднего mIoU по восьми измененным доменам, W = 62,8% и S = 3,61 пункта. SETR сохранил наибольшую долю исходного качества – 87,6%, но его ресурсные требования ограничивают практическое применение. SegFormer сочетает 80,0% сохранения качества с более умеренной потребностью в памяти. DeepLabV3+ оказался наиболее чувствительным к типу ухудшения, особенно к снегу.

Выбор модели должен определяться не максимальным исходным mIoU, а сочетанием среднего качества в неблагоприятных доменах, худшего случая W, стабильности S и бюджета целевой платформы. По имеющимся данным Mask2Former предпочтителен для высокопроиз-

водительного контура, SegFormer – для первичной проверки на ограниченном вычислителе, а SegMAN требует прямого эксперимента. Нерешенным остается главный инженерный вопрос: сохранится ли этот порядок моделей при одинаковом обучении и измерении на реальных дорожных сценах.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России FZSU-2026-0007, рег. номер НИОКТР 126020516513-4.

Список литературы

1. Suryanto N., Adiputra A. A., Kadiptya A. Y. [et al.]. Cityscape-Adverse: Benchmarking Robustness of Semantic Segmentation with Realistic Scene Modifications via Diffusion-Based Image Editing // IEEE Access. – 2025. – DOI 10.1109/ACCESS.2025.3537981.

2. Ванюшев, А. А. Адаптивные сверточные нейронные сети в интеллектуальных транспортных системах / А. А. Ванюшев, В. В. Мокшин, Л. Ф. Мавлиев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – №. 2 (72). – С. 277–290.

3. Cordts M., et al. The Cityscapes Dataset for Semantic Urban Scene Understanding // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – P. 3213–3223.

4. Жданов, А. С. Графовые модели знаний для интеллектуальной генерации ответов в системах анализа правил дорожного движения / А. С. Жданов, В. И. Мурсалимов, Д. А. Шайдуллин, А. С. Норкин, А. С. Сытник // Вестник НЦБЖД. – 2025. – № 4 (66). – С. 118–127.

5. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation //International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. – Cham : Springer international publishing, 2015. – С. 234–241.

6. Chen L. C. et al. Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation //European conference on computer vision. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – С. 833–851.

7. Xie E. et al. SegFormer: Simple and efficient design for semantic segmentation with transformers //Advances in neural information processing systems. – 2021. – Т. 34. – С. 12077–12090.

8. Fu Y., Lou M., Yu Y. SegMAN: Omni-scale context modeling with state space models and local attention for semantic segmentation //2025 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – IEEE, 2025. – С. 19077–19087.

9. Sakaridis C., Dai D., Van Gool L. ACDC: The adverse conditions dataset with correspondences for semantic driving scene understanding //2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). – IEEE, 2021. – С. 10745–10755.

10. Zheng S. et al. Rethinking semantic segmentation from a sequence-to-sequence perspective with transformers //2021 IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (CVPR). – IEEE, 2021. – С. 6877–6886.

11. Cheng B. et al. Masked-attention mask transformer for universal image segmentation // 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – IEEE, 2022. – С. 1280–1289.

УДК 004.932

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ

Сытник А.С.., к.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-2911-5819;
E-mail: assytnik@kai.ru;
Чигрунов Д.Ф., аспирант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-9306-4164;
E-mail: damirch01@mail.ru

APPLICATION OF A MOBILE ROBOTIC PLATFORM FOR VISUAL MONITORING OF TRAFFIC CONDITIONS AT INTERSECTIONS

Sytnik A.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-2911-5819;
E-mail: assytnik@kai.ru;
Chigrunov D.F., Postgraduate, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-9306-4164;
E-mail: damirch01@mail.ru

Аннотация

Рост числа мобильных робототехнических систем, работающих в городской среде, позволяет рассматривать их не только как исполнительные устройства, но и как распределенные подвижные источники данных о дорожной обстановке. Исследуется возможность применения колесной робототехнической платформы, конструктивно близкой к автономным роботам доставки, для наблюдения за транспортными потоками на перекрестках при отсутствии использования GPS/ГЛОНАСС в качестве обязательного средства позиционирования. На основе анализа современных работ сформирована функциональная схема системы, объединяющая видеокамеры, лидар, одометрию, средства локальной обработки и канал связи с внешним вычислительным узлом. Для мониторинга предлагается выделять транспортные средства и пешеходов в видеопотоке, сопровождать обнаруженные объекты во времени и формировать не исходный видеоматериал, а структурированное описание текущей сцены: состав потока, направления перемещения, локальные скопления и признаки затруднения движения. Установлено, что для функций безопасного движения критические вычисления должны сохраняться на платформе, тогда как агрегация результатов мониторинга и более тяжелый анализ могут выполняться удаленно. Предложенный подход позволяет совместить транспортную функцию мобильного робота с задачей получения актуальных данных о локальной дорожной ситуации без развертывания отдельной сети стационарных камер.

Ключевые слова: мобильный робот, мониторинг дорожного движения, перекресток, компьютерное зрение, лидар, SLAM, локализация без GPS, транспортный поток, периферийные вычисления, база знаний

Abstract

The growing number of mobile robotic systems operating in urban environments makes it possible to consider them not only as actuators but also as distributed moving sources of traffic data. This paper investigates the use of a wheeled robotic platform, structurally similar to autonomous delivery robots, for observing traffic flows at intersections without relying on GPS/GLONASS as a mandatory

positioning method. Based on an analysis of recent studies, a functional architecture is proposed that combines video cameras, LiDAR, wheel odometry, onboard computing and a communication channel to an external computing node. The monitoring pipeline is intended to detect vehicles and pedestrians, track them over time, and produce a structured description of the current road scene rather than transmit only raw video: traffic composition, movement directions, local accumulations and indications of restricted flow. For autonomous motion in GNSS-denied conditions, LiDAR and visual localization should be combined, while a previously prepared descriptive representation of the urban environment can provide additional constraints for place recognition. Safety-critical perception and localization should remain available onboard, whereas aggregation of monitoring results and heavier analytical procedures can be executed remotely when communication quality permits. The proposed concept combines the transport capability of an urban mobile robot with the acquisition of up-to-date local traffic information without deploying a dedicated network of fixed cameras.

Keywords: mobile robot, traffic monitoring, intersection, computer vision, LiDAR, SLAM, GNSS-denied localization, traffic flow, edge computing, knowledge base

Введение

Стационарное видеонаблюдение дает устойчивый поток данных, но его информативность ограничена местом установки камеры. Мобильный робот, напротив, переносит сенсорный комплекс вместе с собой и способен регулярно наблюдать один перекресток с разных позиций. Обзор автономных наземных роботов (Autonomous Delivery Robots, ADR) показывает, что малогабаритные мобильные платформы уже рассматриваются как самостоятельный класс городских систем, причем зоны пересечения потоков относятся к наиболее сложным участкам эксплуатации. К автономным наземным роботам относятся компактные наземные робототехнические средства, предназначенные преимущественно для автономного перемещения грузов на заключительном участке логистической цепи. Это создает основание использовать часть сенсорного ресурса робота не только для навигации, но и для сбора сведений о дорожной ситуации [1].

Цель работы – сформировать технологическую концепцию мобильной системы мониторинга перекрестков, функционирующей без обязательной привязки к GPS/ГЛОНАСС. Робот должен одновременно оценивать собственное положение и интерпретировать динамическую сцену, без компенсации движения камеры траектории наблюдаемых объектов.

1. Методика исследований

Работа носит литературно-аналитический и методико-прикладной характер. Рассматривались публикации по видеоаналитике транспортных потоков, одновременной локализации и построению карты (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM), лидарным измерениям и вычислительной разгрузке. Исходным объектом принята низкоскоростная колесная платформа по типу робота доставки с лидаром и видеокамерой.

2. Формирование данных о дорожной обстановке

Компьютерное зрение применяется для автоматизированного получения параметров транспортного потока и сокращения ручной обработки видеозаписей. Практически значимый результат появляется после сопровождения объектов во времени: можно оценивать число участников движения, направления, продолжительность нахождения в зоне наблюдения и образование очереди [2].

Для подвижной камеры требуется дополнительный этап – компенсация собственного движения платформы. Сначала выделяются участники сцены; базовым вариантом могут служить одноэтапные архитектуры семейства YOLO, рассчитанные на обработку в реальном времени. Затем выполняются межкадровое сопровождение и фильтрация кратковременных ложных детекций. Результаты связываются с локальной системой координат робота через калибровку камеры, оценку его позы и синхронные измерения лидара. Выходом системы целесообразно считать не непрерывный видеоархив, а структурированное описание: идентификатор участка и интервал времени, число транспортных средств по классам, преобладающие направления, наличие очереди перед пересечением, изменение плотности потока и присут-

ствие пешеходов. Видео может сохраняться выборочно для верификации событий и обучения моделей. Такой формат снижает объем передачи и сразу формирует данные, пригодные для системы поддержки принятия решений [3].

3. Локализация без обязательного использования GPS/ГЛОНАСС

При отказе от спутникового позиционирования как обязательного канала робот должен определять положение по локально наблюдаемым признакам. Визуальный и лидарный SLAM обладают различными ограничениями: камера дает богатую семантическую информацию, но зависит от освещенности и текстурности, тогда как лидар непосредственно измеряет геометрию и в наружных сценариях часто оказывается устойчивее. Поэтому рациональна не замена одного сенсора другим, а их совместное использование [4].

ORB-SLAM3 поддерживает визуальный и визуально-инерциальный режимы, повторную локализацию и несколько карт. LIO-SAM объединяет лидарные сканы и данные инерциального измерительного блока при оценке траектории [5]. Для низкоскоростной мобильной робототехнической платформы геометрическая локализация может строиться по лидару и одометрии, а визуальные признаки – подтверждать место и добавлять семантический контекст. Значение лидаров для интеллектуальной навигации беспилотного транспорта и мобильных роботов отмечается и в российских исследованиях лазерной локации [6].

Связь с тематикой формирования баз знаний возникает на уровне представления места. Узлу маршрута можно сопоставить не только координаты, но и описание: тип участка, устойчивые ориентиры, конфигурацию свободного пространства и допустимые переходы. Текущие наблюдения тогда сравниваются и с геометрической картой, и с описанием. Здесь этот механизм рассматривается лишь как дополнительная проверка локализации, для автоматического формирования такой базы будет проведено отдельное исследование.

4. Распределение вычислений между роботом и сервером

Детекция объектов, построение карты и долговременная аналитика различаются по допустимой задержке. Исследования в области распределенных вычислений для мобильной робототехники показывают, что перенос части вычислительных задач с бортового компьютера робота на внешний или сервер не всегда является целесообразным. Выбор места обработки данных определяется требуемым временем выполнения задачи, энергозатратами, объемом передаваемых данных, пропускной способностью канала и устойчивостью сетевого соединения. Поэтому полностью серверная схема для городской платформы нежелательна [7].

На борту должны оставаться обнаружение непосредственных препятствий, локальная оценка положения, управление движением и минимальный набор функций зрения, необходимых для безопасной остановки. Пограничный узел может выполнять более тяжелое распознавание и объединять данные нескольких роботов, а центральный сервер – хранить историю, строить сводную статистику, обучать модели и обновлять описательную базу. Потеря связи при этом не должна лишать платформу возможности локализоваться и безопасно завершить маневр. Сравнение вариантов приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение вариантов размещения вычислений

Вариант	Преимущества	Ограничения	Предлагаемое применение
Бортовой	Независимость от сети, малая задержка	Ограничения по мощности и энергии	Локализация, безопасность, первичная детекция
Пограничный	Дополнительный ресурс при умеренной задержке	Зависимость от сетевой инфраструктуры	Углубленный анализ, объединение данных
Центральный сервер	Масштабирование хранения и аналитики	Сетевая задержка и возможная недоступность	История, обучение моделей, обновление базы знаний

Заключение

Мобильность сенсорного комплекса одновременно расширяет зону наблюдения и усложняет измерения. Робот может собирать данные там, где установка отдельной камеры нецелесообразна, но одна и та же сцена фиксируется под разными углами и с различными перекрытиями. Поэтому алгоритмы стационарного видеонаблюдения должны быть дополнены привязкой транспортных измерений к текущей позе робота и геометрии контролируемой зоны.

Регулярное прохождение маршрута позволяет строить временные профили загрузки перекрестков. Устойчивые инфраструктурные ориентиры при этом подтверждают местоположение, а их существенное изменение указывает на необходимость актуализировать описание среды.

Анализ показывает, что мобильная робототехническая платформа может выполнять функцию подвижного пункта мониторинга дорожной обстановки. Результат целесообразно представлять в структурированной форме, получаемой из детекции и сопровождения участников движения, а не ограничиваться накоплением видео.

Для работы без обязательного GPS/ГЛОНАСС рациональна многосенсорная локализация с использованием лидара, визуальных данных и одометрии. Описательное представление среды может служить дополнительным уровнем распознавания места и связывает прикладную задачу мониторинга с исследованиями методов формирования баз знаний для систем принятия решений. Вычислительную архитектуру следует строить гибридно: критические функции сохранять на борту, а тяжелую аналитику и накопление истории переносить на пограничные и серверные узлы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России FZSU-2026-0007, рег. номер НИОКТР 126020516513-4.

Список литературы

1. Alverhed E., Hellgren S., Isaksson H., Olsson L., Palmqvist H., Flodén J. Autonomous last-mile delivery robots: a literature review // European Transport Research Review. – 2024. – Vol. 16. – Art. 4. – DOI: 10.1186/s12544-023-00629-7. – URL: https://link.springer.com/article/10.1186/s12544-023-00629-7 (дата обращения: 24.07.2026).

2. Чебыкин, И. А. Автоматизация мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения / И. А. Чебыкин // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 74–87. – DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-74-87. – URL: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/2055 (дата обращения: 24.07.2026).

3. Wang C.-Y., Bochkovskiy A., Liao H.-Y.M. YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-the-Art for Real-Time Object Detectors // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2023. – P. 7464–7475. – DOI: 10.1109/CVPR52729.2023.00721. – URL: https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2023/html/Wang_YOLOv7_Trainable_Bag-of-Freebies_Sets_New_State-of-the-Art_for_Real-Time_Object_Detectors_CVPR_2023_paper.html (дата обращения: 24.07.2026).

4. Zhao Y.-L., Hong Y.-T., Huang H.-P. Comprehensive Performance Evaluation between Visual SLAM and LiDAR SLAM for Mobile Robots: Theories and Experiments // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – No. 9. Art. 3945. – DOI: 10.3390/app14093945. – URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/14/9/3945 (дата обращения: 20.08.2026).

5. Shan T., Englot B., Meyers D., Wang W., Ratti C., Rus D. LIO-SAM: Tightly-coupled Lidar Inertial Odometry via Smoothing and Mapping // 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2020. – P. 5135–5142. – DOI: 10.1109/IROS45743.2020.9341176. – URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/9341176/ (дата обращения: 20.08.2026).

6. Старовойтов, Е. Лазерные локационные системы 3D Flash Ladar для интеллектуальной навигации транспорта / Е. Старовойтов, Е. Скиба // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2024. – №10. – С. 126-130. DOI: 10.22184/1992-4178.2024.241.10.126.130 (дата обращения: 29.08.2026).

7. Chaâri R., Cheikhrouhou O., Koubâa A., Youssef H., Nguyen Gia T. Dynamic computation offloading for ground and flying robots: Taxonomy, state of art, and future directions // Computer Science Review. – 2022. – Vol. 45. – Art. 100488. – DOI: 10.1016/j.cosrev.2022.100488. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574013722000296 (дата обращения: 28.08.2026).

УДК 004.89

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ СИСТЕМЫ MACH3

Фаизов М.Р., исследователь-преподаватель, ассистент кафедры МиИГ;
E-mail: faizovmarat92@gmail.com;
ORCID: 0000-0001-6309-5316;
Хабибуллин Ф.Ф., к.т.н., доцент заведующий кафедры машиноведения и инженерной графики;
E-mail: fanil_arsk@mail.ru;
Гельмияров А.И., магистр ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF AN ELECTRIC DRIVEN STAND FOR RESEARCH OF SPHERICAL MECHANISM WITH CONTROL FROM MACH3 SYSTEM

Faizov M.R., Researcher-Lecturer, assistant department MSaEG;
E-mail: faizovmarat92@gmail.com;
ORCID: 0000-0001-6309-5316;
Khabibullin F.F., candidate of technical sciences, associate professor, head of department Machine Science and Engineering Graphics;
E-mail: fanil_arsk@mail.ru;
Gelmiyarov A.I., magistr, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В данной работе рассматривается конструкция экспериментального стенда, предназначенного для анализа кинематики пространственного сферического механизма. Описаны аппаратные средства системы электропривода, включая технические параметры шагового двигателя B6HB250-82B, драйвера HBS86H, источника питания на 60 В и управляющего контроллера BSMCeO4U. Авторами сформирована принципиальная электрическая схема коммутации узлов, а также детально изложен алгоритм конфигурации программного комплекса Mach3 для прецизионного управления перемещениями. Дополнительно представлена авторская методика экспериментального тестирования для оценки эксплуатационных параметров системы. Практическая ценность работы заключается в возможности проектирования автоматизированных комплексов для исследования пространственных механизмов, требующих повышенной точности позиционирования.

Ключевые слова: шаговый двигатель, драйвер шагового двигателя, контроллер BSMCeO4U, Mach3, сферический механизм, экспериментальный стенд, электропривод

Abstract

The paper describes an experimental stand designed for kinematic testing of spatial spherical mechanisms. The main components of the electric drive presented: a stepper motor B6HB250-82B, a driver HBS86H, a 60 V power supply, a BSMCeO4U controller, and the Mach3 CNC software. A complete electrical wiring diagram is given, and the settings for Mach3 discussed. The stand allows precise positioning of the input link and be used for verification of theoretical kinematic models. A methodology for conducting experimental studies proposed.

Keywords: stepper motor, driver, controller, Mach3, spherical mechanism, experimental stand, electric drive

Введение

Проектирование инновационных пространственных механизмов (включая сферические, параллелепипедные конфигурации и шарнирные системы Беннетта) неразрывно связано с этапом опытной верификации расчетных кинематических и динамических зависимостей. Решение данной задачи требует создания специализированных исследовательских платформ. Такие комплексы должны обеспечивать строгое воспроизведение заданных алгоритмов движения ведущих элементов и точную фиксацию результирующих показателей. В текущем исследовании детально рассмотрена конструкция испытательного стенда на основе современного шагового электропривода. Интеграция программного комплекса числового программного управления (ЧПУ) Mach3 позволила достичь высокой точности пространственной ориентации и адаптивности управляющих алгоритмов [1-7].

Структура публикации представлена двумя ключевыми блоками. Первая секция сфокусирована на анализе аппаратного обеспечения электропривода, где детально рассматриваются эксплуатационные характеристики модулей и электрическая схема их сопряжения. В заключительной части работы раскрываются конструктивные особенности исследуемого сферического устройства, смонтированного на платформе, а также приводится пошаговый алгоритм реализации измерительных процедур.

1. Архитектура и параметры электрооборудования стенда

Аппаратный комплекс спроектирован для обеспечения вращения ведущего звена (в частности, кривошипа) сферической системы с возможностью прецизионного программирования величины угловых смещений и скоростных режимов. Спецификация ключевого оборудования включает:

1) шаговый мотор B6HB250-82B: представляет собой двухфазный гибридный агрегат, рассчитанный на рабочий ток 4,2 А. Устройство развивает статический синхронизирующий момент до 3,0 Н·м при базовом угловом шаге 1,8° (что соответствует 200 импульсам на один полный оборот). Конструктивно мотор выполнен в стандартном корпусе фланца NEMA 24 и снабжен рабочим валом диаметром 8 мм;

2) драйвер HBS86H – микрошаговый драйвер с автоматическим определением тока и поддержкой режимов дробления шага до 256 микрошагов. Рабочее напряжение – 18–80 В постоянного тока, максимальный ток фазы – 7,0 А. Драйвер обеспечивает подавление резонанса и защиту от перегрева, перегрузки по току и короткого замыкания;

3) блок питания – источник постоянного напряжения 60 В, мощность не менее 350 Вт, с регулировкой выходного напряжения и защитой от короткого замыкания;

4) контроллер BSMCeO4U – устройство сопряжения персонального компьютера с силовыми драйверами. Поддерживает протоколы обмена по USB и Ethernet, совместим с программным обеспечением Mach3, имеет дискретные входы/выходы для подключения датчиков и конечных выключателей;

5) программа Mach3 – широко распространённая система ЧПУ для управления станками и роботизированными устройствами, позволяющая генерировать импульсные последовательности STEP/DIR на основе G-кода.

2. Электрическая принципиальная схема подключения

Схема соединений представлена на рис. 1 (в текстовом варианте описывается словесно). Основные связи:

1) Питание:

– блок питания 60 В подключается к клеммам «V+» и «V-» драйвера HBS86H;

– контроллер BSMCeO4U питается от отдельного источника +5 В (через USB-порт компьютера) или от внешнего адаптера 12 В (в зависимости от модификации);

– шаговый двигатель B6HB250-82B подключается к драйверу через четырёхпроводную схему: обмотка A (A+, A-) и обмотка B (B+, B-).

2) Управляющие сигналы:

– контроллер выдаёт сигналы STEP (шаг) и DIR (направление) на соответствующие входы драйвера (обычно PUL+, PUL- и DIR+, DIR-). Подключение производится через экранированный кабель для защиты от помех;

– драйвер также имеет выходы для сигнала готовности (ALM) и разрешения (ENA), которые подключаются к контроллеру для реализации защитных функций.

3) Связь с компьютером:

– контроллер BSMCeO4U соединяется с ПК по интерфейсу Ethernet (рекомендуемый вариант) или USB. В работе использовалось подключение Ethernet, обеспечивающее высокую скорость передачи данных и помехоустойчивость;

– на компьютере установлена операционная система Windows 7/10 и пакет Mach3 с настроенным профилем для выбранного контроллера.

3. Настройка программного обеспечения Mach3

Для корректной работы стенда выполнены следующие шаги настройки Mach3:

– в разделе «Config → Ports & Pins» выбран порт Ethernet для связи с BSMCeO4U;

– заданы параметры импульсного сигнала: частота 100 кГц, длительность импульса 5 мкс;

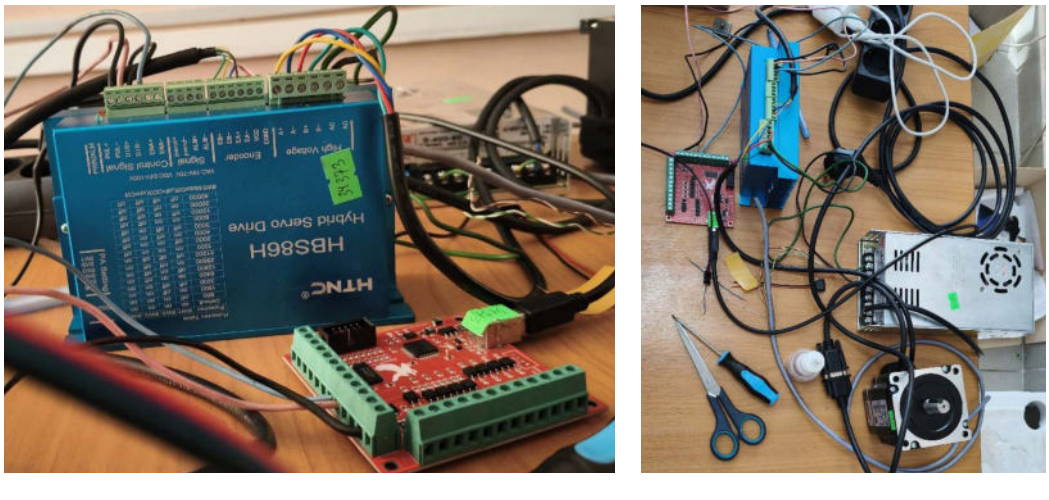
– настроены выводы для STEP и DIR для оси X (используемой для привода механизма);

– установлены параметры двигателя: число шагов на оборот – 200, микрошаг – 16 (выбирается переключателями на драйвере), что даёт 3200 импульсов на оборот;

– введены коэффициенты для преобразования линейного перемещения в угловое (при необходимости);

– проведена тестовая прогонка: задано вращение на 360°, проконтролировано фактическое положение вала.

В основе стенда представляется на рис. 1 все компоненты стенда, описанные в статье.



а *б*

Рис. 1. Комплектующие стенда

4. Конструкция сферического механизма и его установка на стенд

В качестве объекта исследования используется сферический четырёхзвенный механизм, выполненный по классической схеме с вращательными кинематическими парами. Все звенья изготовлены из алюминиевого сплава Д16Т, шарниры оснащены прецизионными подшипниками качения. Входное звено (кривошип) связано с валом шагового двигателя через муфту и систему редуктора (при необходимости).

5. Методика эксперимента

Эксперимент заключается в задании входному звену вращения с постоянной угловой скоростью и регистрации угла поворота выходного звена в зависимости от времени. Для этого:

1) в Mach3 создаётся управляющая программа, содержащая циклические команды G-кода для непрерывного вращения.

2) запускается процесс, синхронно фиксируются показания энкодера и системного времени.

3) полученные данные обрабатываются с целью построения передаточной функции механизма, сравнения с теоретической кинематической моделью и оценки ошибок.

Планируется провести серию экспериментов при разных скоростях и нагрузках, а также исследовать влияние микроскопического шагового режима на точность позиционирования.

В заключении статьи представляется на рис. 2 сама макетная модель установки.

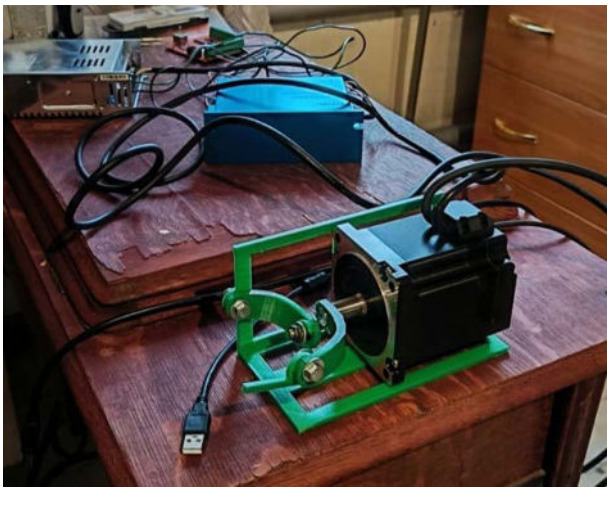


Рис. 2. Установка кибернетического протеза

Заключение

Разработан и введён в действие экспериментальный стенд для исследования сферических и пространственных механизмов. Электроустановка на базе шагового двигателя B6HB250-82B, драйвера HBS86H, контроллера BSMCeO4U и системы Mach3 обеспечивает высокую точность управления, удобство настройки и возможность автоматизации экспериментов. Предложенная электрическая схема и методика настройки могут быть использованы при создании аналогичных стендов для изучения кинематики и динамики рычажных механизмов. В дальнейшем планируется расширение функционала стенда за счёт введения нескольких осей управления и использования контурных режимов работы.

Список литературы

1. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев. – Москва : Машиностроение, 2019. – Т. 3.

2. Контроллер BSMCeO4U: инструкция по установке и программированию. – [Б. м.]: ООО «Стенд-Сервис», 2023.

3. Mach3 Software User Manual. – [Б. м.] : ArtSoft USA, 2020.

4. Романов, И. А. Исследование геометрических параметров шестизвенного механизма путем объединения пространственных механизмов, сферической и параллелепипедной структуры / И. А. Романов, М. Р. Фаизов, Ф. Ф. Хабибуллин / Машиноведение. – 2023. – Т. 77, № 11. – С. 601–602.

5. Руководство пользователя драйвера HBS86H. – [Б. м.]: Leadshine Technology Co., Ltd., 2021.

6. Техническое описание шагового двигателя B6HB250-82B. – [Б. м.] : ООО «Русские моторы», 2022.

7. Фаизов, М. Р. Исследование геометрических параметров шестизвенного механизма на основе двух пространственных механизмов, имеющих структуру параллелепипеда / М. Р. Фаизов, Ф. Ф. Хабибуллин, И. А. Романов // Машиноведение. – 2023. – Т. 77, № 11. – С. 581–582.

8. Макин, М. К. Влияние потерь в двигателе постоянного тока циклового и позиционного электропривода на пиковую мощность при использовании синтезированного закона движения при преобладающей инерционной нагрузке / М. К. Макин, А. Н. Волков, А. В. Сергеев // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 7 (157). – С. 34-37. – EDN NGSZAS.

9. Разработка и исследование мехатронных пневматических приводов с нелинейным пружинным аккумулятором и фиксатором на базе кулисного механизма / Ч. Янь, А. Н. Волков, С. Берро [и др.] // Робототехника и техническая кибернетика. – 2025. – Т. 13, № 3. – С. 232-240. – EDN HGQMRN.

УДК 004.8:004.93:656.2

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИНСТАНС-СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ВОЖДЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Федоров В.А., к.т.н., инженер отдела научно-исследовательских разработок комплексных систем безопасности ООО «НПО САУТ», г. Екатеринбург, Россия;
ORCID: 0009-0004-5670-7264;
E-mail: va.fedorov@outlook.com

DETECTION AND INSTANCE SEGMENTATION OF RAILWAY INFRASTRUCTURE OBJECTS AND OBSTACLES FOR AUTONOMOUS TRAIN OPERATION

Fedorov V.A., Candidate of Technical Sciences, Engineer in the Department of Research and Development for Integrated Security Systems at NPO SAUT LLC, Yekaterinburg, Russia;
ORCID: 0009-0004-5670-7264;
E-mail: va.fedorov@outlook.com

Аннотация

В статье рассматривается применение современной модели свёрточной нейронной сети YOLO26 (You Only Look Once версии 26) для обнаружения и инстанс-сегментации объектов железнодорожной инфраструктуры и препятствий в контексте перехода к четвертому уровню автоматизации систем управления железнодорожным подвижным составом, при котором реализуется полностью автономное вождение поездов без участия локомотивной бригады. В работе оценивается эффективность модели в реальных условиях эксплуатации, характеризующихся изменчивой освещенностью окружающей среды, неблагоприятными погодными условиями, разнообразием ракурсов съемки объектов и различной скоростью движения подвижного состава.

Исследование опирается на ранее сформированный набор данных, собранный на российских железных дорогах и включающий 46 классов объектов – от элементов железнодорожной инфраструктуры до потенциальных препятствий. Все пять стандартных версий YOLO26 были обучены на указанном наборе данных и оценены по качеству обнаружения и сегментации объектов с использованием метрики mAP 50-95, а также по скорости обработки изображений.

Результаты обучения показывают, что точность обнаружения по метрике mAP 50-95 находится в диапазоне от 0,420 до 0,549, а точность сегментации по метрике mAP 50-95 варьируется от 0,360 до 0,457. При этом время обработки одного изображения на графическом процессоре NVIDIA RTX A6000 находится в диапазоне от 9,57 до 28,03 мс в зависимости от версии YOLO26. Обученная модель уверенно обнаруживает и сегментирует как крупные объекты железнодорожной инфраструктуры (железнодорожная колея, стрелочные переводы, тупиковая призма), так и мелкие объекты (предельные столбики, карликовые светофоры), что подтверждает её пригодность для использования в системах машинного зрения автономных поездов.

Полученные результаты позволяют сформулировать практические рекомендации по выбору версии YOLO26 в зависимости от вычислительных ресурсов бортовой системы машинного зрения, а также подтверждают перспективность данной архитектуры для решения задач, связанных с автономным управлением железнодорожным транспортом.

Ключевые слова: обнаружение объектов, инстанс-сегментация, YOLO26, свёрточные нейронные сети, машинное зрение, автономное вождение, беспилотные поезда, железнодорожная инфраструктура, уровни автоматизации

Abstract

This paper explores the use of the YOLO26 convolutional neural network for object detection and instance segmentation of railway infrastructure objects and obstacles, in the context of moving toward the fourth level of automation in train control systems, where trains operate fully autonomously without a driver or crew. The study evaluates how well the model performs under real-world operating conditions, including varying light levels, adverse weather, different viewing angles, and changes in train speed.

The research is based on a custom dataset collected on Russian railways, which includes 46 object classes ranging from infrastructure elements to potential hazards. All five standard versions of YOLO26 (nano, small, medium, large, and extra large) were trained on this dataset and assessed both for detection and segmentation accuracy using the mAP 50-95 metric, as well as for processing speed.

The results show detection accuracy ranging from 0.420 to 0.549, segmentation accuracy from 0.360 to 0.457, and inference time per image between 9.57 and 28.03 milliseconds on an NVIDIA RTX A6000 GPU, depending on the model version. The network reliably handles both large objects and small infrastructure details, which confirms its suitability for computer vision systems in autonomous trains.

Based on these findings, practical recommendations are provided for selecting the appropriate YOLO26 version according to the available onboard computing power. The results also highlight the potential of this architecture for autonomous railway operations.

Keywords: object detection, instance segmentation, YOLO26, convolutional neural networks, machine vision, autonomous driving, driverless trains, railway infrastructure, grade of automation

Введение

Современная тенденция развития железнодорожного транспорта предусматривает постепенный переход к высоким уровням автоматизации систем управления железнодорожным

подвижным составом, которые позволят достичь полностью автономного вождения поездов без участия локомотивной бригады.

Системы управления железнодорожным подвижным составом в соответствии с ГОСТ Р 70059-2022 классифицируются на 5 уровней автоматизации (далее – УА), аналогичное разделение систем управления предусмотрено и международным стандартом IEC 62267, где уровни автоматизации обозначаются как Grade of Automation (далее – GoA) [1].

На нулевом уровне (УА0/GoA0) управление осуществляется полностью в ручном режиме локомотивной бригадой. На первом уровне (УА1/GoA1) система управления контролирует превышение допустимой скорости движения и предотвращает проезд на запрещающий сигнал. На втором уровне (УА2/GoA2) управление тягой, скоростью и торможением уже автоматизировано. На третьем уровне (УА3/GoA3) поезд способен автоматически остановиться при препятствии, но машинист остаётся в кабине для контроля. На четвёртом уровне (УА4/GoA4) все циклы управления выполняются без участия локомотивной бригады [2].

Исключение человека из процесса управления транспортным средством позволяет главным образом увеличить безопасность движения, так как исключается влияние человеческого фактора [3]. Человек подвержен влиянию психоэмоциональных факторов и усталости, что негативно сказывается на концентрации внимания.

При управлении поездом предусматривается смена локомотивной бригады на железнодорожных станциях, расположенных на маршруте следования поезда, что вызывает увеличение времени транспортировки грузов. При автономном вождении поездов такая необходимость пропадёт, что позволит снизить время транспортировки грузов и затраты на содержание локомотивных бригад.

Достижение автономного вождения поездов возможно при использовании систем машинного зрения, которые способны выполнять обнаружение и пространственную локализацию как железнодорожных объектов, так и посторонних объектов, которые могут являться препятствиями.

Препятствием для поезда является любой объект, который лежит в пределах габарита железнодорожного подвижного состава на всем пути следования. Соответственно, нужно не просто обнаружить сам объект, но также и выполнить сегментацию пути следования поезда, состоящего из совокупности рельсовой колеи и стрелочных переводов, с целью определения местоположения объекта относительно пути следования. Главной сложностью являются условия эксплуатации поезда, которые предусматривают круглосуточную и круглогодичную эксплуатацию подвижного состава на разных скоростях движения. Таким образом нужно выполнять обнаружение объектов при любом уровне освещенности, при любых погодных условиях и при любом ракурсе объекта. Классические методы компьютерного зрения не способны обеспечить стабильное обнаружение и сегментацию объектов при подобных условиях. С данной задачей хорошо справляются методы глубокого обучения, в частности сверточные нейронные сети, которые являются частью технологий искусственного интеллекта [4].

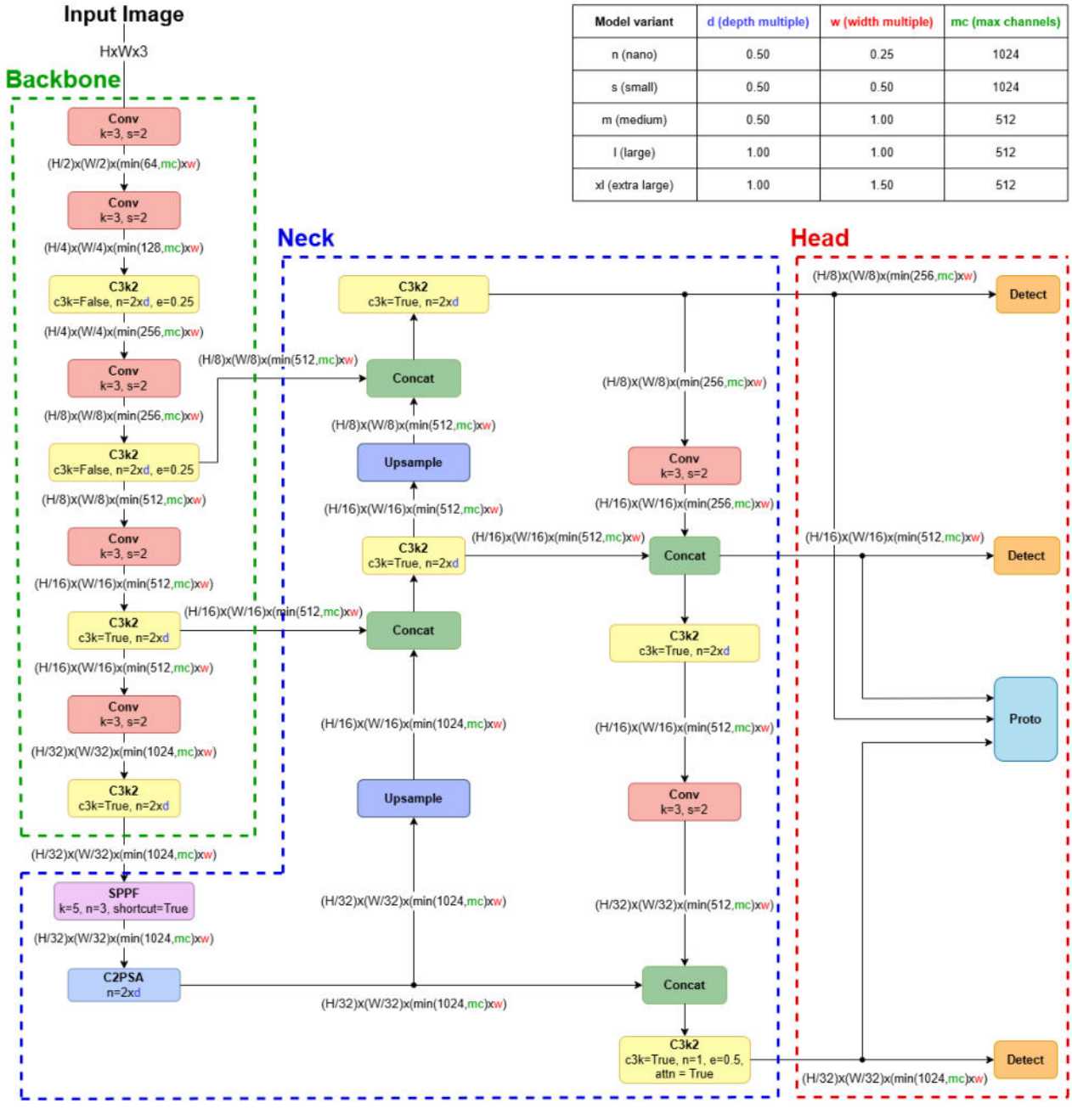
Переход к четвертому уровню автоматизации позволяет не только снизить расходы на транспортировку грузов, но и повысить безопасность движения за счёт исключения человеческого фактора, а использование технологий искусственного интеллекта при построении бортовых систем машинного зрения соответствует национальным приоритетам, что подтверждается Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

В данной работе для обнаружения и инстанс-сегментации объектов железнодорожной инфраструктуры и препятствий в контексте перехода к четвертому уровню автоматизации железнодорожных подвижных составов предлагается использовать современную модель сверточной нейронной сети YOLO26 [5].

Архитектура модели YOLO26

Сверточные нейронные сети [6] по сравнению с классическими методами компьютерного зрения демонстрируют стабильное качество обнаружения и инстанс-сегментации объектов в сложных условиях, когда внешний вид объекта сильно изменяется из-за различий в освещённости, погодных условиях и ракурсе съёмки [7].

Для обнаружения и инстанс-сегментации объектов применим современную модель сверточной нейронной сети YOLO26 [8], которая представляет эволюционное развитие модели YOLO11 [9] и имеет схожую архитектуру, состоящую из трех основных частей: скелета (backbone), шеи (neck) и головы (head). Модель YOLO26 в зависимости от параметров масштабирования (глубины сети d, ширины сети w и максимального количества каналов mc) разделяется на 5 стандартных версий: nano, small, medium, large и extra large. На рис. 1 продемонстрирована архитектура модели YOLO26 для инстанс-сегментации и ее параметры различных версий.



Model variant	d (depth multiple)	w (width multiple)	mc (max channels)
n (nano)	0.50	0.25	1024
s (small)	0.50	0.50	1024
m (medium)	0.50	1.00	512
l (large)	1.00	1.00	512
xl (extra large)	1.00	1.50	512

Рис. 1. Архитектура YOLO26 для обнаружения и инстанс-сегментации объектов

На вход модели подается цветное изображение, представленное тензором размерности H×W×3, где H и W представляют ширину и высоту изображения в пикселях соответственно, а 3 – это количество цветовых каналов, которые по умолчанию указываются в формате RGB (Red, Green, Blue).

Скелет в модели выполняет извлечение признаков из входного изображения в трех масштабах, формируя многомасштабные карты признаков. Шея производит агрегацию и улучшение представленных признаков во всех масштабах. А голова выполняет прогнозирование, генерируя окончательные результаты для классификации, локализации и сегментации объектов.

Обучение YOLO26 и результаты обучения

Для обучения YOLO26 был использован ранее нами сформированный набор данных железнодорожной инфраструктуры [1], отличительной особенностью которого является использование реальных изображений разрешения 1920×1080 пикселей (Full HD), полученных в ходе эксплуатации железнодорожного подвижного состава в различных регионах Российской Федерации. Суммарный объем набора данных превышает 20000 аннотированных изображений.

Набор данных содержит 46 подклассов объектов железнодорожной инфраструктуры (железнодорожная колея, стрелочные переводы, путевые и сигнальные знаки, светофоры и т.д.) и объектов, которые потенциально могут являться препятствиями (люди, животные, автомобильные и железнодорожные транспортные средства и т.д.). В свою очередь набор разделен на три части: тренировочную часть (80%), тестовую часть (10%) и валидационную (10%).

Все 5 версий модели были обучены с использованием стандартного разрешения входного слоя модели, равного 640×640×3. Обучение производилось с использованием графического процессора NVIDIA RTX A6000 с объемом видеопамяти 48 Гб и вычислительной производительностью равной 38,71 TFLOPS (Tera Floating-point Operations Per Second).

Все обученные версии модели были оценены как по точности, так и по скорости. Для оценки точности обнаружения и сегментации использовалась метрика mAP 50-95 [10]. Оценка скорости сегментации производилась путем расчета среднего времени обработки одного изображения на графическом процессоре NVIDIA RTX A6000. В табл. 1 представлены результаты оценки.

Таблица 1

Оценка точности и скорости сегментации

Версия YOLO26	mAP 50-95 (обнаружения)	mAP 50-95 (сегментации)	Время обработки одного изображения, мс
nano	0,420	0,360	9,57
small	0,470	0,398	12,18
medium	0,519	0,436	17,33
large	0,537	0,449	18,67
extra large	0,549	0,457	28,03

На рис. 2 продемонстрированы примеры обнаружения и инстанс-сегментации объектов железнодорожной инфраструктуры моделью YOLO26 версии medium.

Все версии обученной модели успешно обнаруживают и сегментируют как крупные объекты, такие как рельсовая колея и стрелочные переводы, так и относительно мелкие объекты типа предельные столбики и карликовые светофоры. А скорости обработки кадров для применения YOLO26 при разработке бортовых систем технического зрения, работающих в режиме реального времени.

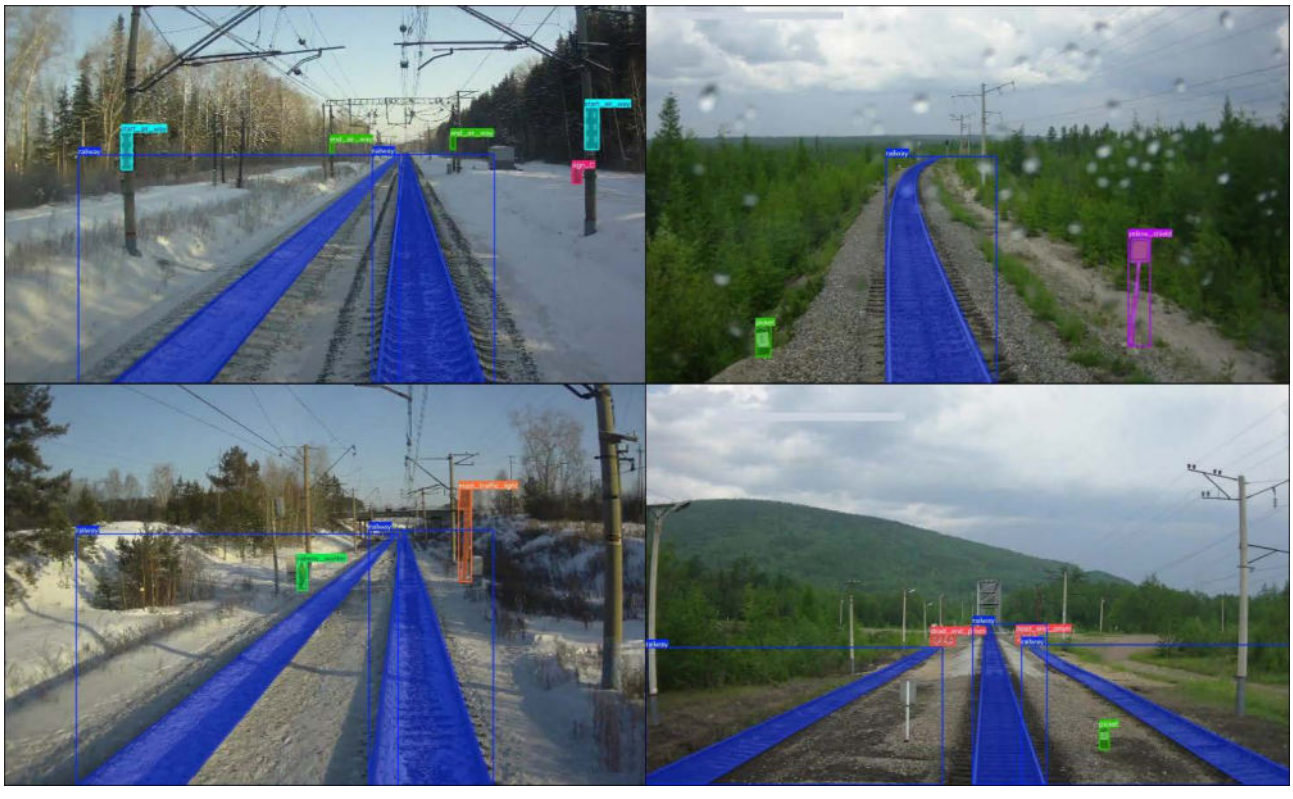


Рис. 2. Примеры обнаружения и сегментации объектов
моделью YOLO26 версии medium

Заключение

В работе была произведена оценка применимости современной модели свёрточной нейронной сети YOLO26 для обнаружения и инстанс-сегментации объектов железнодорожной инфраструктуры и препятствий в контексте перехода к четвертому уровню автоматизации железнодорожных подвижных составов.

Экспериментальные исследования были проведены на реальном наборе данных, содержащем 46 классов объектов (рельсовая колея, стрелочные переводы, светофоры, путевые и сигнальные знаки, люди, животные, транспортные средства и др.) и собранном в различных регионах Российской Федерации в условиях реальной эксплуатации поезда. Были обучены все пять стандартных версий YOLO26 (nano, small, medium, large, extra large) на ранее сформированном наборе данных.

Оценка качества обучения показала, что:

– по точности обнаружения mAP 50-95 значения варьируются от 0,420 (для версии nano) до 0,549 (для версии extra large), что подтверждает высокую эффективность модели даже в сложных условиях;

– по точности сегментации mAP 50-95 достигнуты значения от 0,360 (для версии nano) до 0,457 (для версии extra large), что свидетельствует о корректном восстановлении контуров объектов;

– среднее время обработки одного кадра на графическом процессоре NVIDIA RTX A6000 составляет от 9,57 мс (nano) до 28,03 мс (extra large), что обеспечивает возможность работы в реальном времени непосредственно на борту железнодорожного подвижного состава.

Выбор конкретной версии модели зависит от требований к вычислительным ресурсам аппаратной части и необходимой точности. Для бортовых систем с ограниченной производительностью предпочтительны компактные версии nano и small, обеспечивающие скорость более 100 кадров в секунду при приемлемой точности. Для высокоточного анализа в условиях

плохой видимости или для обнаружения мелких объектов целесообразно использовать версии large или extra large.

Полученные результаты демонстрируют, что YOLO26 успешно справляется с обнаружением и инстанс-сегментацией как крупных объектов (например, рельсовой колеи и стрелочных переводов), так и мелких элементов инфраструктуры (предельных столбиков, карликовых светофоров). Модель устойчива к вариациям освещённости, погодных условий и ракурсов съёмки, что подтверждает её пригодность для использования в системах машинного зрения автономных поездов.

Таким образом, применение YOLO26 является перспективным решением для достижения четвёртого уровня автоматизации железнодорожного транспорта, позволяя повысить безопасность движения, снизить эксплуатационные расходы и исключить влияние человеческого фактора.

Список литературы

1. Fedorov, V. A. Instance Segmentation for Infrastructure and Obstacle Detection in Automatic Train Operation Systems / V.A. Fedorov // Artificial Intelligence and Applications. – 2026. – DOI: 10.47852/bonviewAIA62026000.

2. Vanderhaegen, F. Human factors and automation in future railway systems / F. Vanderhaegen, J.M. Burkhardt, W. Fang et al. // Cognition, Technology & Work. – 2021. – Vol. 23. – № 2. – P. 189-192. – DOI: 10.1007/s10111-021-00670-3.

3. Popov, P. A. Prospects of autonomous railway transport development / P. A. Popov, A. V. Ozerov, A. S. Marshova // BRICS Transport. – 2024. – Vol. 3, № 3. – P. 1-14. – DOI: 10.46684/2024.3.4.

4. Lin, Y. W. Railway track fasteners fault detection using deep learning / Y.W. Lin, C.C. Hsieh, W.H. Huang et al. // 2019 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE). – IEEE, 2019. – P. 187-190. – DOI: 10.1109/ECICE47484.2019.8942769.

5. Hidayatullah, P. YOLO26: a comprehensive architecture overview and key improvements / P. Hidayatullah, R. Tubagus // arXiv preprint arXiv: 2602.14582. – 2026. – DOI: 10.48550/arXiv.2602.14582.

6. Simonyan, K. Deep learning for visual object recognition: A comprehensive survey / K. Simonyan, A. Zisserman // International Journal of Computer Vision. – 2014. – №. 6. – P. 257-276. – DOI: 10.1016/j.ijcce.2025.01.004.

7. Fedorov, V. A. Recognizing Railway Infrastructure Using CNN and Stereoscopic Vision / V. A. Fedorov // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon) – IEEE, 2024, P. 13-18. – DOI: 10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10516208.

8. Sapkota, R. YOLO26: Key architectural enhancements and performance benchmarking for real-time object detection / R. Sapkota, R. H. Cheppally, A. Sharda et al. // arXiv preprint. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2509.25164.

9. Fedorov, V. A. Onboard Instance Segmentation of Railway Infrastructure and Obstacles for Autonomous Train Systems / V. A. Fedorov // Doklady Mathematics. – Pleiades Publishing, 2025. – Vol. 112, № 2. – P. 433-442. – DOI: 10.1134/S1064562425700413.

10. Lin, T. Y. Microsoft coco: Common objects in context / T. Y. Lin, M. Maire, S. Belongie et al. // European conference on computer vision. – 2014. – P. 740-755. – DOI: 10.48550/arXiv.1405.0312.

УДК 519.854.2; 519.245; 519.217.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ МНОЖЕСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЁРА

Шалагин С.В., д.т.н., доцент, профессор;
ORCID: 0000-0002-2591-2749;
Захаров В.М., д.т.н., профессор кафедры компьютерных систем ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

APPLICATION OF STATISTICAL TESTING METHOD TO SOLVING THE MULTIPLE TRAVELING SALESMAN PROBLEM

Shalagin S.V., Doctor of Engineering Sciences, docent, Professor;
ORCID: 0000-0002-2591-2749;
Zakharov V.M., Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Professor at the Computer Systems Department Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

Рассматривается множественная задача коммивояжёра для n пунктов в контексте генерирования групп из k маршрутов как вариантов решения при использовании аппарата теории сложных цепей Маркова. Цель работы – повысить эффективность поиска оптимальной группы маршрутов за счёт применения метода Монте-Карло с использованием созданной специализированной вероятностной модели.

Предложенный подход позволяет существенно увеличить вероятность генерации оптимальной группы маршрутов по сравнению с равновероятным формированием таких групп маршрутов. Для этого разработана вероятностная модель, обеспечивающая повышение вероятности генерирования решений, оптимальных по критерию суммарной выгоды.

В ходе исследования получена нижняя оценка количества испытаний, требуемых для формирования множества групп из k путей и последующего выбора наилучшей по критерию суммарной выгоды. Установлено, что при проведении заданного числа генераций согласно предложенной модели полученная группа путей будет оптимальной с вероятностью $1-\alpha$. Применение предложенной модели позволяет сократить число статистических испытаний в L раз по сравнению с равновероятным способом генерирования групп путей, причём L линейно зависит от соотношения вероятностей получения оптимального решения в рамках предложенной вероятностной модели и при равновероятном генерировании.

Проанализирована зависимость нижней оценки количества испытаний от ключевых параметров: вероятности получения оптимальной группы путей, L и вероятности генерирования оптимальной группы в заданном эксперименте. Выявлена связь между количеством пунктов и степенью их связанности между собой: при определённых значениях числа коммивояжёров, количества депо и вероятности получения оптимальной группы величина n существенно возрастает при снижении степени связанности пунктов.

Перспективы исследования направлены на расширение области применения предложенной вероятностной модели для задач маршрутизации, на адаптацию предложенного подхода к динамически меняющимся условиям и к условиям, которые заданы вероятностными законами. Они также связаны с расширением области применения полученных результатов на смежные классы комбинаторных задач в различных практических приложениях.

Ключевые слова: множественная задача коммивояжёра, сложная цепь Маркова, статистические испытания, оценки сложности

Abstract

The multiple traveling salesman problem for n_points is considered in the context of generating groups of k routes as solution options using the apparatus of complex Markov chains theory. The_goal of_the_work is to_improve the_efficiency of the_optimal finding routes group_by applying the_ Monte-Carlo method using a_specialized probabilistic model_that has_been_developed.

The proposed approach significantly increases the probability of generating an optimal group of_routes compared to_the_equally likely formation of such routes groups. To achieve this, a_probabilistic model has been developed that increases the likelihood of generating solutions that are_optimal in terms of the_total benefit criterion.

During the_study, a_lower bound_was obtained for_the_number of trials required to form a_ set of_groups consisting of k_paths and subsequently select the_best one based on the criterion of_total benefit. It_has_been established that, when a_given number of_generations are_carried out according to the_proposed model, the_resulting group of paths will_be optimal with a_probability_1−α. The_ application of the proposed model makes_it possible to_reduce the_number of statistical tests by a_ factor L compared to_the_equally likely method of_groups of_paths generating, with L depending linearly on the_ratio_of the_probabilities of obtaining an_optimal solution within the_framework_of the_proposed probabilistic model_and_under the_equally likely method of generation.

The_dependence of the_lower bound on_the_number of trials on key parameters is analyzed: the_probability of_obtaining the_optimal group of paths, L, and the probability of_generating the_ optimal group_in a_given experiment. A_relationship has been identified between_the_number of points_and the_degree of their interconnection: for_certain values of the_salesmen's quantity, the_depots quantity, and the_probability of obtaining_an_optimal group, the_value of n increases significantly as the_degree_of interconnection between the_points decreases.

The research prospects are aimed at_expanding the_scope of application of the proposed probabilistic model_for_routing problems, as_well_as at adapting the proposed approach to_ dynamically changing conditions and to_conditions defined by probabilistic distributions. They are also related to_expanding the_scope of the_obtained results application to_related classes of combinatorial problems in various practical applications.

Keywords: Multiple Traveling Salesman Problem, complex Markov chain, statistical tests, complexity estimates

Введение

Задача коммивояжёра для n пунктов (TSP), как классическая, так и множественная (k-TSP, для k коммивояжёров, $k > 1$) является NP-сложной. Особый научный и практический интерес представляет k-TSP [4, 5, 6, 7, 8], а также способ её решения при использовании метода статистических испытаний (Монте-Карло, ММК), который допускает распараллеливание на этапе проведения экспериментов [1]. Вероятностный подход в сочетании с эвристическими методами позволяет решать k-TSP большого размера n по сравнению с исключительно детерминированными подходами [2]. При этом не предъявляется жестких требований к памяти и быстродействию компьютерных систем (КС), реализующих ММК.

Ввиду развития ММК и современных КС представляется возможным распределённое генерирование путей k коммивояжёров, $k \geq 1$, на основе известного аппарата теории n-сложных цепей Маркова (n-ЦМ) [3]. Рассмотрим решение k-TSP для n пунктов с d депо, $d \leq k$, при использовании ММК с применением n-ЦМ.

Методика

Количество вариантов различных множеств из k непересекающихся групп путей (далее – групп) в k-TSP равно $q = (n - d)!$, где d – количество депо, $d \leq k$. Общее количество вариантов решения k-TSP, оптимальных по заданному критерию, представляет собой суперпозицию групп, включающих k пар путей (путь прямой и обратный из заданного депо) для каждого из коммивояжёров. То есть из всего множества вариантов групп оптимальными являются не

менее 2^k. В случае равновероятного генерирования множества из q всевозможных групп вероятность получить оптимальную группу путей составляет:

$$p_r = 2^k / q. \quad (1)$$

Количество испытаний, требуемое для получения группы путей с оптимальным решением k-TSP хотя бы один раз с вероятностью 1 – α, рассчитываются по классической формуле:

$$N \geq \ln \alpha / \ln(1 - p_r), \quad (2)$$

где основания логарифмов в числителе и знаменателе должны быть равны и строго больше единицы.

В соответствии с [9, 10] генератор n-ЦМ, применимый для решения 1-TSP, задан как система, включающая два взаимосвязанных блока – конечный детерминированный автомат (КДА) и вероятностный автомат (ВА).

Вероятностная модель для решения k-TSP включает в себя общее множество S, $|S| = 2^{n-d}$, k множеств Z_i, k однотипных КДА вида: $M_{d_i} = \left(Z_i,\ S,\ s(t+1) = \delta\left(z_i(t),\ s(t)\right)\right)$, а также k однотипных ВА, представленных выражением:

$$M_{s_i} = \left(S,\ Z_i,\ z_i(t+1) = \mu\left(s(t+1)\right)\right),\ i = \overline{1,n}: \\ \left(S,\ Z_1,\ \ldots,\ Z_k,\ M_{d_1},\ \ldots,\ M_{d_k},\ M_{s_1},\ \ldots,\ M_{s_k}\right). \quad (3)$$

Замечание 1. В (3) подмножества $Z_1, \ldots, Z_k$ могут быть либо фиксированы либо формироваться в соответствии со случайным выбором элементов $z_{g(t)}$, $g = \overline{1,k}, t = \overline{1,e}$, $e = \begin{cases} [(n-k)/k]: & n \bmod k < g \\ [(n-k)/k] + 1: & \text{иначе} \end{cases}$.

Замечание 2. Вероятностная функция μ($s(t + 1)$ задаётся как система из $2^{n-d} - 1$ стохастических матриц размера $(n – d) \times (n – d)$ на основе полносвязанной $n \times n$ матрицы функционалов $F = (f_{ij})$, определяющих разницу между выгодой и затратами КВ от перемещения из пункта i в пункт j, где $i, j = \overline{1,n}, i \neq j$, [9, стр. 640-641].

Замечание 3. В случае, когда F является h-связанной [9], $k – d + 1 \leq h < n – d$, количество вариантов различных множеств из k групп равно:

$$q(h) = h^{n-d-h} \cdot h!. \quad (4)$$

В начальный момент времени элементам $z_{i(0)}$, $i = \overline{1,n}$, присваиваются номера пунктов-депо для каждого из k коммивояжёров, $s(0) = (0 \ldots 0)$ – бинарный вектор, включающий $(n – k)$ элементов, каждый из которых равен нулю. По мере прохождения коммивояжёрами каждого из $(n – k)$ пунктов в соответствующем элементе множества S «0» заменяется на «1». В моменты времени t, $t = \overline{1,e}$, имитируется случайное прохождение группы k КВ по k путям W_g, которые включает пункты с номерами $z_{g(1)}, z_{g(2)}, \ldots, z_{g(e)}$; для сохранения группы путей $W = \{W_g\}, g = \overline{1,k}$, требуется k банков памяти, каждый из которых включает не более $([(n-k)/k] + 1)$ ячеек; каждая из ячеек сохраняет числа от 1 до n. Затем, согласно [9, 10], рассчитывается суммарная выгода каждого из k КВ на основе матрицы F с учётом, что i-й КВ начинал свой путь из $z_{i(0)}$ в $z_{i(1)}$ и завершал его, перейдя из $z_{i(e)}$ в $z_{i(0)}$, в своё депо. Сохраняется информация о группе путей, имеющей максимальное значение суммарной выгоды, которую далее будем называть «оптимальная группа».

Основная часть

За счёт применения генератора n-ЦМ вероятность получения оптимальной группы, p_{opt} будет в b раз выше, чем p_r, вычисленная согласно (1). Точная оценка b определяется на ос-

нове конкретной матрицы *F*, рассчитанной для заданной *k*-TSP размера *n* с *d* депо, $d \le k$. Приближённая оценка *b* позволяет оценить выигрыш по количеству статистических испытаний, применяемых для поиска оптимальной группы *W*. Подставив в (2) величину $p_{opt} = bp_r$ получим нижнюю оценку количества испытаний, требуемых для генерирования групп из *k* путей на основе (3):

$$N` \ge \ln\alpha / \ln(1 - bp_r). \quad (5)$$

Получим соотношение нижних оценок *N* и $N`$ в зависимости от параметров p_r и *b*:

$$L = \ln(1 - bp_r) / \ln(1 - p_r). \quad (6)$$

Числитель и знаменатель в (6) разложим в ряд Меркатора. Получим:

$$L = \sum_{i=1}^{\infty}\left(i^{-1} \cdot (-1)^{i+1} \cdot (-bp_r)^i\right) / \sum_{i=1}^{\infty}\left(i^{-1} \cdot (-1)^{i+1} \cdot (-p_r)^i\right).$$

Рассмотрим приближённые значения *L* и $N`$, вычислив первые четыре элемента ряда Меркатора в числителе и знаменателе:

$$L \cong \frac{-bp_r - \frac{1}{2}(-bp_r)^2 + \frac{1}{3}(-bp_r)^3 - \frac{1}{4}(-bp_r)^4}{-p_r - \frac{1}{2}(-p_r)^2 + \frac{1}{3}(-p_r)^3 - \frac{1}{4}(-p_r)^4} = \frac{b\left(-p_r - \frac{b}{2}(-p_r)^2 + \frac{b^2}{3}(-p_r)^3 - \frac{b^3}{4}(-p_r)^4\right)}{-p_r - \frac{1}{2}(-p_r)^2 + \frac{1}{3}(-p_r)^3 - \frac{1}{4}(-p_r)^4}. \quad (7)$$

В формуле (7) величина $L \cong b$ при условии, что p_r будет меньше, чем 10^{-5}.

Нижняя оценка вида (5) имеет вид:

$$N` \ge \ln\alpha \Big/ \left(-bp_r - \frac{1}{2}(-bp_r)^2 + \frac{1}{3}(-bp_r)^3 - \frac{1}{4}(-bp_r)^4\right). \quad (8)$$

Согласно (8) для α = 0,05 и варьировании *b* от 1 до 1000 нижняя граница для оценки $N`$: при $p_r = 10^{-5}$ меняется от $299{,}6 \cdot 10^3$ до 298,1; при $p_r = 10^{-10}$ – от $29{,}96 \cdot 10^9$ до $29{,}96 \cdot 10^6$; при $p_r = 10^{-15}$ – от $2{,}996 \cdot 10^{15}$ до $2{,}996 \cdot 10^{12}$. Для α = 0,01 и варьировании *b* от 1 до 1000 нижняя граница для оценки $N`$ в соответствии с (8): при $p_r = 10^{-5}$ меняется от $460{,}5 \cdot 10^3$ до 458,2; при $p_r = 10^{-10}$ – от $46{,}05 \cdot 10^9$ до $46{,}05 \cdot 10^6$; при $p_r = 10^{-15}$ – от $4{,}605 \cdot 10^{15}$ до $4{,}605 \cdot 10^{12}$.

Согласно (1), $p_r \in [10^{-15}, 10^{-5}]$ и $k = 1$ соответствуют значения *n* от 9 до 18. Согласно (1) и (4), заданным значениям *d*, *h*, $k - d + 1 \le h < n - d$, и p_r соответствуют значения *n* количества пунктов *k*-TSP, рассчитанные по формуле:

$$n = d + h + (k \ln 2 - \ln p_r - \ln h!) / \ln h. \quad (9)$$

Пример. Пусть $p_r \in [10^{-15}, 10^{-5}]$, $k = d = 1$ и $h = 3$; тогда оценки значения *n* будут варьироваться с 14 до 37. Если $k = d = 10$, то, при сохранении остальных условий примера, оценки *n* будут варьироваться с 29 до 52; если $k = d = 100$, то, при сохранении остальных условий примера, оценки *n* будут варьироваться с 182 до 205.

Согласно формуле (9), при сохранении минимальной связанности пунктов в *k*-TSP, а также при увеличении количества коммивояжёров и депо, наблюдается линейный рост количества пунктов, доступных при решении *k*-TSP с применением ММК. При увеличении степени связанности *h* рост *n* приостанавливается на величину порядка $O((C - \ln h!)/\ln h)$, где C – константа, зависящая от k и p_r в соответствии с (9).

Заключение

Применение ММК для решения *k*-TSP обусловлено тем, что вероятность генерирования оптимальной группы для *n*-ЦМ будет в *b* раз выше по сравнению с равновероятным генерированием множества групп путей. Получена приближённая оценка количества испытаний, требуемых для генерирования множества групп из *k* путей с целью отбора среди них лучшей по критерию суммарной выгоды. Выбранная группа будет оптимальной с вероятностью 1– α

при условии, что будет проведено $N`$ генераций при использовании вероятностной модели вида (3). По сравнению с равновероятным генерированием группы из k путей применение предложенной модели позволяет уменьшить количество статистических испытаний в L раз. Величина L линейно зависит от соотношения вероятностей получения оптимальной группы при использовании модели (3) и при равновероятном генерировании.

Показана зависимость нижней оценки $N`$ от параметров α, L и вероятности генерирования оптимальной группы p_r. Определена зависимость количества пунктов n в зависимости от их связанности между собой. Показано, что определённых значениях количества коммивояжёров, количества депо и вероятности получения оптимальной группы величина n в соответствии с (9) существенно увеличивается при уменьшении связанности пунктов между собой.

Список литературы

1. Мудров, В. М. Задача о коммивояжёре / В. М. Мудров. – Москва : Изд-во Знание, 1969. – 64 с. – URL: https://www.mathedu.ru/text/ mudrov_zadacha_o_kommivoyazhere_1969/p0/ (09.08.2026).

2. Меламед, И. И. Задача коммивояжера. Приближенные алгоритмы / И. И. Меламед, С. И. Сергеев, И. Х. Сигал // Автоматика и телемеханика. – Москва, 1989. – № 11. – С. 3–26. – URL: www.mathnet.ru/rus/at6463 (09.08.2026).

3. Альпин, Ю. А. Теоретико-автоматный метод описания и моделирования случайных процессов / Ю. А. Альпин, В. М. Захаров // Вероятностные методы и кибернетика, 1983. – Вып. 19. – С. 10–16.

4. Cheikhrouhou, O. A Comprehensive Survey on the Multiple Travelling Salesman Problem: Applications, Approaches and Taxonomy/ Omar Cheikhrouhou and Ines Khoufi // Computer Science Review. – 2021. – Vol. 40. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574013721000095 (дата обращения: 09.08.2026). – DOI: 10.1016/j.cosrev.2021.100369 .

5. Gabrel, V. The Multiple Steiner TSP with order constraints: complexity and optimization algorithms/ V. Gabrel, A.R. Mahjoub, R. Taktak, E. Uchoa // Soft Computing. – 2020. – Vol. 24. – P. 17957–17968. DOI: 10.1007/s00500-020-05043-y

6. Harrath, Y. Three-Step Metaheuristic for the Multiple Objective Multiple Traveling Salesmen Problem / Y. Harrath // International Journal of Applied Metaheuristic Computing. – 2021. – Vol. 11, № 4. – P. 130–148. – DOI: 10.4018/IJAMC.2020100107.

7. Solving multiple traveling salesman problem using K-means clustering-genetic ant colony system algorithm / Mardiyati, Sri; Safitri, Lutfiani; Jihan // Far East Journal of Mathematical Sciences – 2017. – Vol. 102, № 7. – P. 1417-1432. – DOI: 10.17654/MS102071417

8. Shuai, Y. An effective method for solving multiple travelling salesman problem based on NSGA-II / Y.Shuai, S.Yunfeng, Z.Kai // Systems Science & Control Engineering. – 2019. – Vol. 7, № 2. – P. 108–116 – DOI: 10.1080/21642583.2019.1674220

9. Шалагин, С. В. Решение задачи коммивояжёра методом статистических испытаний при использовании сложных цепей Маркова / С. В. Шалагин // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2024. – Т. 166, № 4. – С. 639-650. – DOI 10.26907/2541-7746.2024.4.639-650.

10. Шалагин, С. В. Вероятностный метод решения множественной задачи коммивояжера на основе сложных цепей Маркова / С. В. Шалагин, В. М. Захаров // Международный форум Kazan Digital Week – 2025: Сб. материалов, Казань, 17–19 сентября 2025 года. – Казань : Академия наук Республики Татарстан, 2025. – С. 232-238.

УДК 656.13

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БЕЗОПАСНЫХ МАРШРУТОВ ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ О ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ

Юнг А.А., к.т.н., ассистент кафедры автоматизированных и информационных систем управления Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Старый Оскол, Россия;
E-mail: yungnastena33@gmail.com;
Шевцова А.Г., д.т.н., доцент, директор института дополнительного образования и профессионального обучения Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия;
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru;
Полещенко Д.А., к.т.н., доцент, декан факультета автоматизации и информационных технологий Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Старый Оскол, Россия;
E-mail: po-dima@yandex.ru

RECOMMENDATIONS FOR USING SAFE ROUTES FOR PERSONAL MOBILITY DEVICES, BASED ON DATA FROM TRAFFIC ACCIDENTS

Yung A.A., Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Automated and Information Management Systems, Starooskol Technological Institute named after A.A. Ugarov;
E-mail: yungnastena33@gmail.com;
Shevtsova A.G., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Additional Education and Professional Training, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia;
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru;
Poleshchenko D.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Automation and Information Technologies, A.A. Ugarov Stary Oskol Technological Institute (Branch) of the National University of Science and Technology «MISIS», Stary Oskol, Russia;
E-mail: po-dima@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматривается анализ статистики дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности (далее – СИМ). За последнее десятилетие СИМ стали популярным средством для передвижения в условиях большого города, став альтернативной заменой общественному и личному транспорту. К 2023 г. парк данных средств мобильности увеличился в 10 раз по сравнению с 2020 г. Число пользователей за этот же период выросло в 14 раз, а общее количество совершенных поездок – в 26 раз. Однако бурный рост популярности СИМ привёл и к обратной стороне – резкому увеличению числа дорожных происшествий. По данным ГИБДД, за первые три квартала 2024 г. зарегистрировано 3897 ДТП с участием электросамокатов и моноколёс, что почти в 9 раз выше показателей 2021 г. В связи с этим существует необходимость в выборе более безопасных маршрутов для передвижения на данных устройствах.

Ключевые слова: анализ данных, безопасность, мобильность, дорожное движение, инфраструктура

Abstract

The article examines the analysis of statistics on road traffic accidents involving personal mobility devices (PMDs). Over the past decade, PMDs have become a popular means of transportation in large cities, serving as an alternative to public and private transport. By 2023, the fleet of these mobility devices had increased 10-fold compared to 2020. The number of users over the same period grew 14-fold, and the total number of trips made increased 26-fold. However, the rapid growth in the popularity of SIMs has also led to a downside — a sharp increase in the number of road accidents. According to the traffic police, 3,897 traffic accidents involving electric scooters and monocycles were registered in the first three quarters of 2024, which is almost 9 times higher than the figures for 2021. In this regard, there is a need to choose safer routes for traveling on these devices.

Keywords: data analysis, safety, mobility, road traffic, infrastructure

Транспортная система, как маленьких городов, так и больших мегаполисах за последние 10 лет терпит серьезные изменения, связанные в первую очередь с появлением на дорогах общего пользования нового вида транспорта – средств индивидуальной мобильности (далее – СИМ). Согласно пункту 1.2 Правил дорожного движения, средство индивидуальной мобильности – транспортное средство, имеющее одно или несколько колёс (роликов), предназначенное для индивидуального передвижения человека посредством использования двигателя (двигателей) [1]. В условиях крупных городов, плотной застройки, узких проезжих частей, СИМ решают ряд важных актуальных проблем: сокращение времени в пути, снижение нагрузки на общественный транспорт, беспрепятственная парковка, что на сегодняшний день позволяет минимизировать транспортные задержки и снизить нагрузку на общественный транспорт [2].

Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что обеспечение безопасного движения на средствах индивидуальной мобильности невозможно без аналитики данных о дорожно-транспортных происшествиях с участием СИМ. Статистика ДТП позволяет выявлять закономерности и прогнозировать опасные участки за счет информации об участках улично-дорожной сети с повышенным риском [3].

Предлагаемая методика представляет собой трехуровневую структуру, которая построена по принципу обработки исходной информации в практические рекомендации для конечного пользователя [4]. Каждый из разработанных уровней выполняет определённую функцию в рамках общего цикла обработки данных: сбор количества дорожно-транспортных происшествий и их показателей, что позволяет на конечном этапе сформировать безопасные маршруты для передвижения, с учетом индивидуальных факторов для движения [5].

Первый блок представленной методике формирует определенный массив, который содержит сведения о дорожно-транспортных происшествиях с участием средств индивидуальной мобильности. Источниками полученных данных являются НЦ БДД МВД России, данные Госавтоинспекции, а также данные территориальных подразделений ведомства.

Вместе с показателями количества ДТП в общий информационный массив включены координаты местоположений мест дорожно-транспортных происшествий с привязкой к конкретным отрезкам улично-дорожной сети. Это позволяет составить визуальную картину аварийности на городских картах. Регистрируются как временные характеристики (время суток, сезонность, день недели, год) так и метеорологические условия в момент происшествия: уровень влажность, температура воздуха, видимость. Совокупность перечисленных сведений формирует полноценную эмпирическую основу, необходимую для проведения комплексного анализа на последующих этапах.

Второй блок методики ориентирован на упорядочивание собранных сведений с целью выделения фрагментов улично-дорожной сети, демонстрирующих повышенную аварийность. Для этого задействуются инструменты пространственного анализа и кластерных методов, позволяющих группировать инциденты по географическому положению и устанавливать ло-

кации с максимальной частотой ДТП с участием СИМ. Выявленные таким образом участки получают статус зон повышенного риска и становятся приоритетными объектами при прокладке безопасных маршрутов.

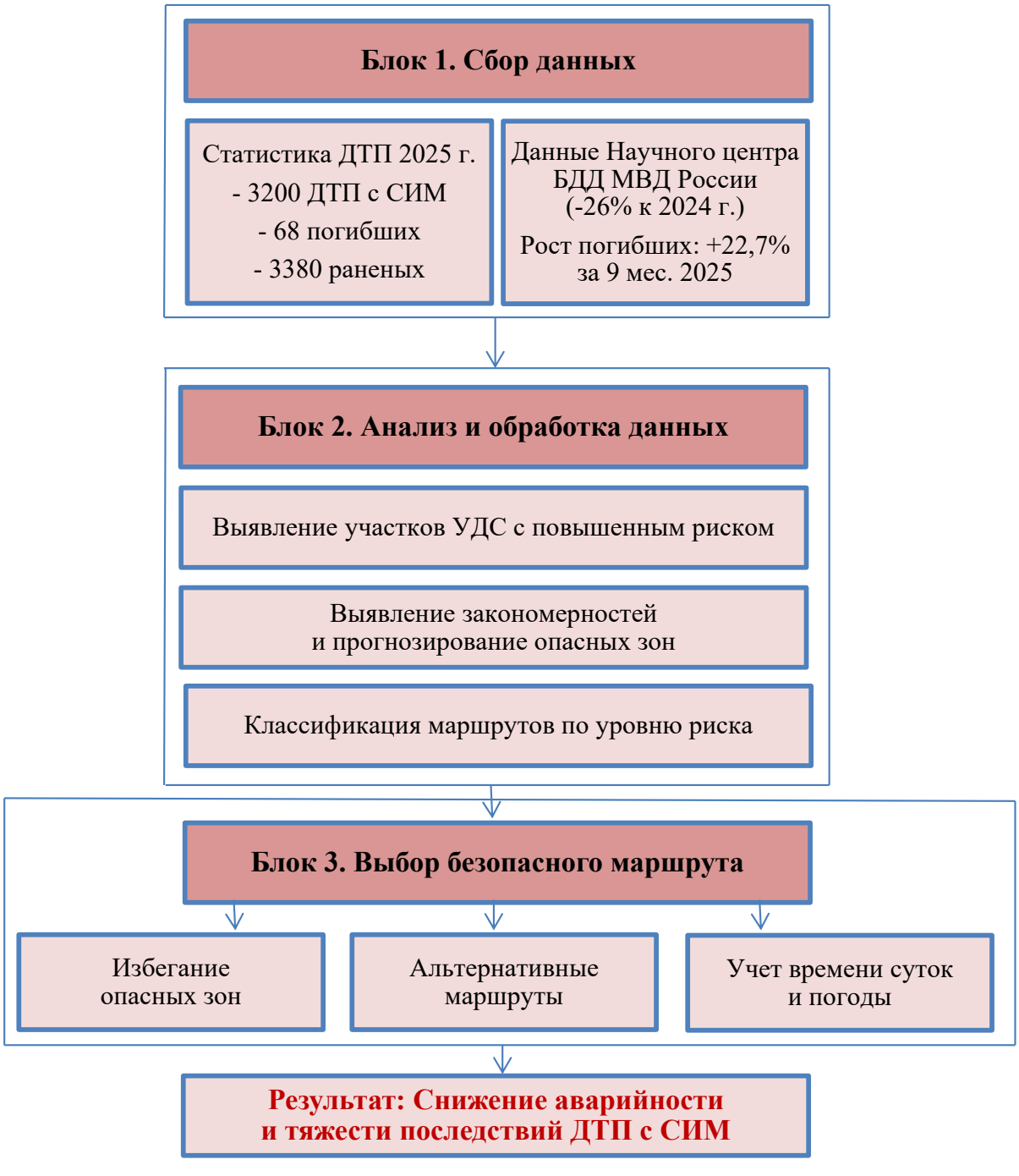


Рис. 1. Структура методики выбора безопасного маршрута для средств индивидуальной мобильности

В рамках аналитического этапа исследуются сопутствующие факторы, коррелирующие с возникновением аварийных ситуаций: интенсивность пешеходного трафика на конкретном отрезке улицы, ширина тротуарной зоны и возможность комфортного разъезда с пешеходами, наличие либо отсутствие выделенных велосипедных полос, близость остановок общественного транспорта, где пассажиры выходят непосредственно на тротуар, конструктивные особенности перекрёстков и прилегающих территорий. Наряду с этим принимаются во внимание об-

щая загруженность транспортными потоками, наличие подземных и надземных пешеходных переходов, уровень искусственного освещения в тёмное время суток [6-7].

Заключительный блок методики обеспечивает практическую реализацию функции выбора маршрута с минимальным уровнем угрозы для водителя пользователей СИМ. Предлагаемый алгоритм автоматически исключает отрезки пути, квалифицированные как зоны высокой опасности, и предлагает объездные альтернативы [8]. При этом в расчёт принимаются не только постоянные характеристики местности, но и динамически изменяющиеся факторы: временной интервал (поскольку аварийность обнаруживает суточные пиковые значения) и погодные условия (осадки и понижение температуры существенно ухудшают сцепление и увеличивают тормозной путь) [9].

Представленная структура имеет возможность в режиме реального времени перестраивать предложенную траекторию для более безопасного движения средств индивидуальной мобильности. Такое быстрое реагирование позволяет соблюдать высокий уровень достоверности выдаваемых рекомендаций в любое время суток [10].

Важной особенностью функционирования данного блока выступает его интеграция с мобильными приложениями операторов кикшеринга и навигационными платформами. Пользователи приложений смогут получить готовый маршрут, с учетом всех выявленных рисков. При этом представленная структура может предлагать несколько альтернативных вариантов для движения, отличающихся продолжительностью, оставляя за пользователем право выбора [11].

Интеграция указанной методики в сервисы кикшеринга и городские навигационные платформы способна сформировать у пользователей культуру безопасного передвижения на средствах индивидуальной мобильности, а также сократить количество связанных с ними дорожно-транспортных происшествий. Это обстоятельство приобретает особую значимость для начинающих пользователей, ещё не обладающих достаточными навыками безопасного передвижения в условиях интенсивного городского трафика [12].

Существенным организационным условием успешной имплементации методики выступает необходимость межведомственной координации между органами исполнительной власти, компаниями-операторами кикшеринга и разработчиками навигационных сервисов с целью утверждения единых стандартов категорирования участков улично-дорожной сети по степени опасности для микромобильности [13]. Такое взаимодействие предполагает создание рабочей группы с участием всех заинтересованных сторон, разработку нормативной базы, определяющей порядок сбора, обработки и использования данных о ДТП, а также формирование общедоступной карты опасных зон, обновляемой в режиме реального времени.

Список литературы

1. Юнг, А. А. Разработка математической модели прогнозирования количества дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности / А. А. Юнг // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2025. – Т. 22, № 1(101). – С. 112-122. – DOI 10.26518/2071-7296-2025-22-1-112-122.

2. Григорьев, А. А. Электросамокаты: тренды и перспективы / А. А. Григорьев // Технологии транспорта. – 2021. – № 7. – С. 12–18. Е. В. Культура использования СИМ в российских городах / Е. В. Демидова // Культура и образование. – 2022. – № 5. – С. 101–107.

3. Шевцова, А. Г. Динамика реализации программы VISION ZERO в мировых странах / А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 3 (74). – С. 35–42. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-35-42.

4. Баранов, М. А. Транспортная безопасность в условиях роста микромобильности / М. А. Баранов // Транспортная безопасность и технологии. – 2023. – № 1. – С. 21–27.

5. Яковлев, С. Н. Умные технологии в управлении микромобильностью / С. Н. Яковлев // Интеллектуальные транспортные системы. – № 2. – С. 29–35.

6. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках улично-дорожной сети города / А. Н. Новиков, Л. Е. Кущенко, С. В. Кущенко, И. А. Новиков // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 2 (85). – С. 222-231. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-222-231.

7. Замков, Д. С. Применение методов машинного обучения для прогнозирования ДТП в городских агломерациях / Д. С. Замков, И. П. Николаев // Информационные технологии в проектировании и управлении. – 2023. – № 1. – С. 77–85.

8. Ильина, И. Е. Индексы для оценки уровня безопасности дорожного движения в регионах / И. Е. Ильина, Е. Е. Витвицкий // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2025. – Т. 22, № 1(101). – С. 68-77. – DOI 10.26518/2071-7296-2025-22-1-68-77.

9. Шевцова, А. Г. Внедрение интеллектуальной транспортной системы RAMP METERING на примере г. Белгорода / А. Г. Шевцова, А. Г. Бурлуцкая, В. В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4 (63). – С. 42–48.

10. Мишина, Ю. В. К вопросу об участии в дорожном движении пользователей средств индивидуальной мобильности / Ю. В. Мишина // Правопорядок: история, теория, практика. – 2020. – № 1/2. – С. 44–46.

11. Юнг, А. А. Оценка аварийности средств индивидуальной мобильности в различных условиях движения / А. А Юнг, А. Г. Шевцова // Современная наука. – 2021. – № 2. – С. 31–36.

12. Ирошников Д. В. Правовые проблемы обеспечения безопасности личности на транспорте в условиях использования индивидуального электротранспорта / Д. В. Ирошников // Правовое государство: теория и практики. – 2019. – № 1/1. – С. 58–89.

13. Шевцова, А. Г. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения / А. Г. Шевцова, А. Г. Бурлуцкая, А. А. Юнг // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 126–134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГОСУДАРСТВЕННОМ УПРАВЛЕНИИ

УДК 004.89:35.004.8

ВКЛЮЧЕНИЕ ИИ-АССИСТЕНТА В СИСТЕМУ КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ ПОРУЧЕНИЙ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Абзалилова Л.Р., к.э.н., вице-президент Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0003-1063-3779;
Дегтярев А.Г., к.т.н., старший научный сотрудник Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0009-0008-3451-9974;
Минниханов Р.Н., д.т.н., профессор, президент Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0001-9166-2955;
Стариков А.Л., научный сотрудник Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-0738-1279

INCLUDING AN AI-ASSISTANT IN THE SYSTEM FOR MONITORING THE EXECUTION OF ORDERS OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Abzalilova L.R., Ph.D., Vice-President of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0003-1063-3779;
Degtyarev A.G., Ph.D., senior researcher at the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0009-0008-3451-9974;
Minnikhanov R.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0001-9166-2955;
Starikov A.L., researcher at the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-0738-1279

Аннотация

В статье рассматривается проблема интеграции искусственного интеллекта в систему контроля исполнения поручений (СКИП) Академии наук Республики Татарстан. Исследование направлено на автоматизацию ключевых процессов управления и повышение эффективности административной работы.

Авторы предлагают методику внедрения ИИ-ассистента, который будет выполнять функции по классификации поручений, определению приоритетов, маршрутизации задач и мониторингу сроков. Особое внимание уделяется оптимизации рутинных операций: регистрации поручений, формированию отчетности и автоматизированным напоминаниям.

Методология исследования базируется на анализе существующих процессов СКИП с применением BPMN-нотации. Разработана концептуальная модель интеграции ИИ-компонентов в действующую систему управления.

Практическая значимость работы заключается в создании методической базы для внедрения ИИ-технологий, что позволит снизить количество просроченных поручений, сократить трудозатраты на контроль и повысить прозрачность управленческих процессов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, система контроля исполнения поручений, BPMN-моделирование, автоматизация управления, административные процессы

Abstract

The article addresses the issue of integrating artificial intelligence into the order execution monitoring system (OEMS) of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan. The research aims to automate key management processes and enhance the efficiency of administrative work.

The authors propose a methodology for implementing an AI assistant capable of performing functions such as order classification, priority determination, task routing, and deadline monitoring. Special attention is paid to optimizing routine operations including order registration, report generation, and automated reminders.

The research methodology is based on analyzing existing OEMS processes using BPMN notation. A conceptual model has been developed for integrating AI components into the current management system.

The practical significance of the work lies in creating a methodological framework for implementing AI technologies. This will help reduce the number of overdue orders, decrease labor costs for monitoring, and increase transparency in management processes.

Keywords: artificial intelligence, order execution monitoring system, BPMN modeling, management automation, administrative processes

Введение

Внедрение искусственного интеллекта (далее – ИИ) может кардинально изменить организацию процессов управления в научных организациях, автоматизируя ключевые процессы и повышая эффективность. Идея автоматизации процессов планирования, распределения ресурсов и мониторинга сроков и качества выполнения поставленных задач заслуживает развернутого рассмотрения.

Процесс планирования традиционно сопровождается ручными расчетами, ИИ для этого будет использовать предиктивные модели и модели временного планирования; процесс распределения ресурсов, строящийся сейчас с помощью статичных таблиц, будет динамически оптимизироваться искусственным интеллектом; мониторинг выполнения, осуществляющийся дискретно выполняемыми отчетами, ИИ будет давать в онлайн-режиме.

В данной статье авторы излагают свое видение методики включение ИИ-ассистента в систему контроля исполнения поручений (СКИП) Академии наук Республики Татарстан (АНРТ).

Актуальность темы исследования

В условиях цифровой трансформации государственного и научного управления возрастает значимость оперативного и прозрачного контроля исполнения поручений. Для Академии наук Республики Татарстан это особенно важно, поскольку эффективность исполнения поручений напрямую влияет на координацию научных проектов, взаимодействие подразделений и качество управленческих решений.

На практике процессы контроля исполнения поручений часто сопровождаются высокой долей ручных операций: регистрацией и распределением задач, мониторингом сроков, подготовкой промежуточной отчетности и напоминаний. Использование разрозненных источников данных (электронная почта, документы, таблицы) усложняет целостный контроль, создает риски пропуска сроков, дублирования задач и неравномерной загрузки исполнителей.

В этой связи применение технологий ИИ представляется перспективным направлением повышения эффективности системы контроля исполнения поручений. ИИ-инструменты могут обеспечить интеллектуальную поддержку принятия решений, сохраняя при этом ключевую роль ответственных сотрудников и руководителей в управленческом контуре.

Постановка задачи

Проблема исследования заключается в необходимости повышения результативности действующей системы контроля исполнения поручений в Академии наук Республики Татарстан при сохранении требований соблюдения регламента, прозрачности и информационной безопасности.

Исследовательская задача состоит в разработке подхода к интеграции ИИ в процессы контроля исполнения поручений, обеспечивающего автоматизацию рутинных операций и повышение качества управленческой аналитики. В рамках данной задачи требуется:

– выявить этапы процесса исполнения поручений, наиболее чувствительные к задержкам и управленческим рискам;

– определить функциональные ИИ-сценарии (классификация, приоритизация, маршрутизация, прогноз просрочек, автоматические напоминания, формирование аналитических сводок);

– предложить модель внедрения ИИ в существующую информационно-организационную среду Академии наук Республики Татарстан.

Таким образом, постановка задачи ориентирована на создание практико-ориентированной модели ИИ-поддержки контроля исполнения поручений, применимой в реальных управленческих условиях.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработать и обосновать схему внедрения ИИ-технологий в систему контроля исполнения поручений Академии наук Республики Татарстан.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

– проанализировать текущую организацию процесса исполнения поручений;

– сформировать требования к ИИ-решению с учетом регламентов документооборота и распределения ролей;

– определить и описать приоритетные сценарии применения ИИ в контуре контроля исполнения поручений;

– разработать концептуальную модель интеграции ИИ-компонентов в действующую систему.

Описание объекта исследования

Суть СКИП заключается в систематическом отслеживании задач от момента их постановки до полного завершения. Такая система минимизирует риски срыва сроков, повышает ответственность сотрудников, улучшает коммуникацию между руководством и исполнителями, а также дает данные для анализа эффективности процессов.

Система обеспечивает переход поручений через четкие этапы: постановка задачи, указание исполнителя и срока, регулярный мониторинг хода выполнения, выявление отклонений и финальная проверка результата на принципах конкретики (что именно, когда и кем должно быть сделано), измеримости результата и ответственности исполнителей за несоблюдение сроков. В общем случае это означает: протокол/резолюция → регистрация → назначение исполнителя → контроль сроков → проверка результата → снятие с контроля. Дадим описание процедур, применяемых в СКИП с помощью BPMN-методологии.

Общими словами BPMN (Business Process Model and Notation) – это нотация и модель бизнес-процессов, то есть система условных обозначений (нотация) и их описания в XML для моделирования бизнес-процессов. Существующая организация СКИП в Академии наук Республики Татарстан в терминологии BPMN представлена таблицей 1.

В виде BPMN-схемы СКИП Академии наук Республики Татарстан представлена на рис. 1. Участники системы представлены в виде двух функциональных линий: администрации и исполнителей.

Таблица 1

Описание СКИП АН РТ в терминологии BPMN

№	Название	Описание
1	Событие начала	Поступление протокола поручений, резолюции руководства или иного поручения, подлежащего исполнению и контролю
2	Участники процесса	Администрация АН РТ, профильные подразделения, отделения, обособленные структуры, ответственные исполнители и руководители направлений
3	Входные данные	Протоколы поручений, письменные и устные резолюции, сопроводительные документы, сведения о сроках и ответственных исполнителях
4	Основные действия	– регистрация поручения; – определение ответственного исполнителя и соисполнителей; – установление сроков и необходимых согласований; – доведение поручения до исполнителей; – мониторинг хода исполнения; – анализ и проверка поступивших материалов; – подготовка итогового документа; – снятие поручения с контроля или возврат на доработку
5	Точки принятия решений	– определение приоритета поручения; – выбор ответственного подразделения; – согласование срока исполнения; – решение о достаточности представленных материалов и о снятии поручения с контроля
6	Инструменты	Текстовый редактор, Excel, электронная почта, внутренние таблицы контроля и рабочие шаблоны для анализа и подготовки документов
7	Результат процесса	Подготовленный и проверенный документ по исполнению поручения, представленный руководству или инициатору, с отметкой об исполнении либо о необходимости доработки
8	Рутинные операции	– регистрация поручений; – внесение сроков в таблицы контроля; – направление напоминаний исполнителям; – сбор промежуточной информации; проверка статуса исполнения; – оформление итоговых материалов

Анализируя существующее описание процедур, применяемых в СКИП Академии наук, с точки зрения применения ИИ можно сделать вывод, что ИИ может помочь при сортировке, регистрации поручений, установке их приоритета, подготовке черновиков служебных текстов, анализе больших массивов информации, проверке полноты ответов и формировании сводных материалов по исполнению. Напрашивается вывод, что в число участников СКИП можно ввести ИИ-ассистента, выполняющего рутинную работу и выдающего предложения и напоминания остальным участникам. Тогда BPMN-схема системы контроля исполнения поручений в Академии наук Республики Татарстан будет описана в следующем виде (табл. 2, рис. 2).

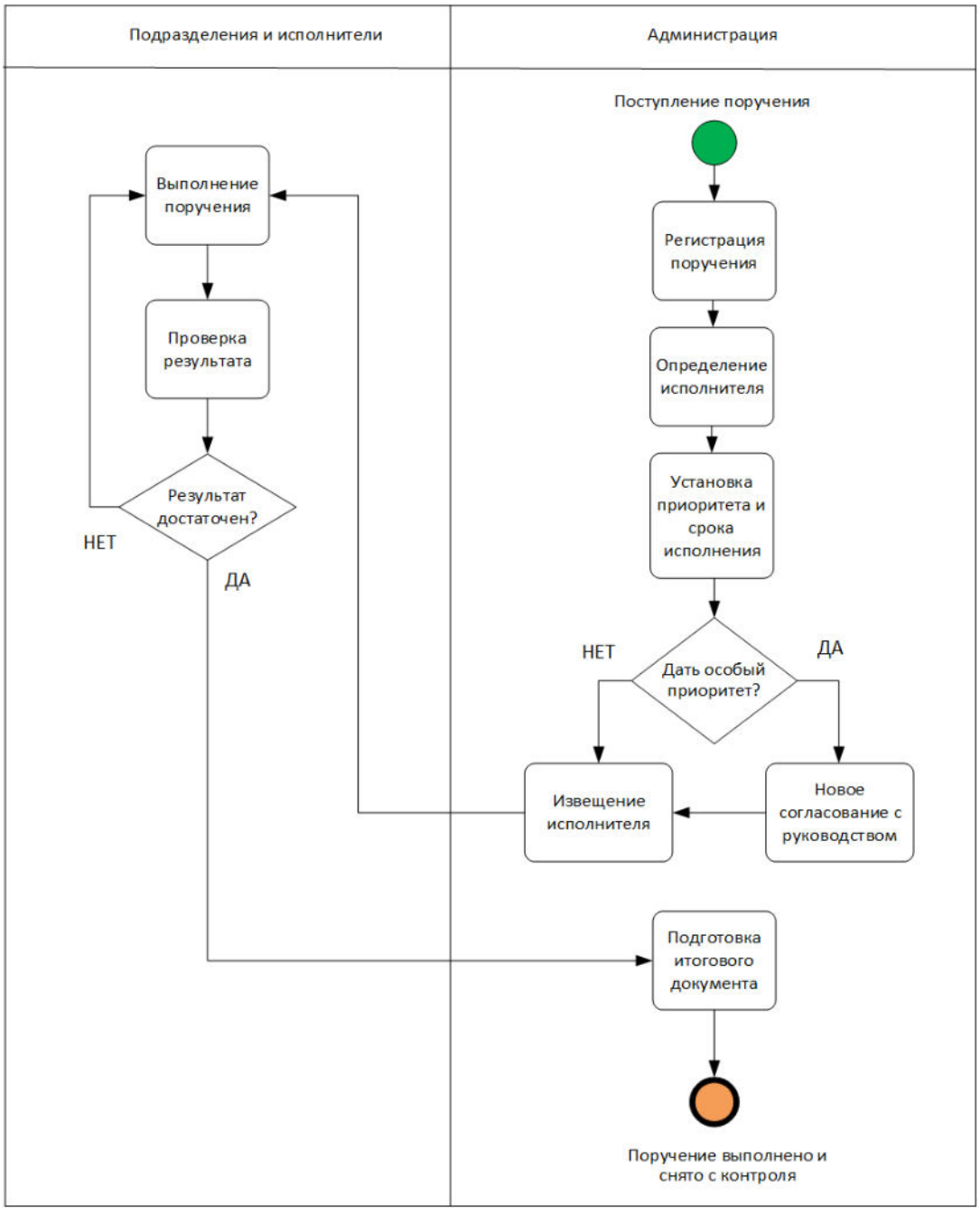


Рис. 1. Организация СКИП АН РТ в виде BPMN-схемы

Таблица 2

Описание СКИП АН РТ с участием ИИ-Ассистента в BPMN-терминологии

№	Название	Описание
1	Начальное событие	Поступление поручения (протокол/резолюция)
2	Процедурная задача (Администрация)	Регистрация поручения
3	Сервисная задача (ИИ-Ассистент)	Распознать текст поручения и заполнить карточку (тема, инициатор, срок, вложения)
4	Сервисная задача (ИИ-Ассистент)	Классифицировать поручение и предложить исполнителя/ подразделение

Окончание табл. 2

№	Название	Описание
5	Процедурная задача (Администрация)	Принять решение об ответственном исполнителе
6	Сервисная задача (ИИ-Ассистент)	Предложить срок исполнения и уровень приоритета на основе типа источника и практики
7	Процедурная задача (Администрация)	Установить срок и приоритет
8	Проверка условия 1: «Требуется особый приоритет?»	Да → Task (Администрация): Согласование с руководством → возврат в поток после установки срока Нет → далее
9	Процедурная задача (Администрация)	Доведение поручения до исполнителя (рассылка, постановка задачи)
10	Сервисная задача (ИИ-Ассистент)	Сформировать и разослать черновики уведомлений, напоминаний исполнителям
11	Процедурная задача (Подразделения)	Исполнение поручения (подготовка материалов, проектов документов)
12	Сервисная задача (ИИ-Ассистент)	Мониторинг сроков, выявление рисков просрочки, формирование сводок по статусам
13	Процедурная задача (Подразделения)	Представление результата исполнения
14	Сервисная задача (ИИ-Ассистент)	Проверить соответствие ответа тексту поручения, полноту закрытия вопросов
15	Процедурная задача (Администрация):	Проверка результата исполнения
16	Проверка условия 2: «Результат достаточен?»	Нет → возврат к Task «Исполнение поручения» (доработка) Да → далее
17	Сервисная задача (ИИ-Ассистент)	Подготовить черновик итоговой справки/доклада, сводку по поручению
18	Процедурная задача (Администрация)	Утверждение итогового документа и отметка об исполнении
19	Конечное событие	Поручение исполнено, итоговый документ подготовлен, поручение снято с контроля

На рис. 2 представлены уже три группы участников: администрация, подразделения/исполнители и ИИ-ассистент, выступающий самостоятельным участником.

Планируемые результаты

Практическая значимость предложенной методики включения ИИ-ассистента в систему контроля исполнения поручений определяется возможностью непосредственного применения его результатов в деятельности Академии наук Республики Татарстан и в организациях со схожими процессами управления поручениями.

Ожидаемые прикладные эффекты:

– снижение доли поручений, исполненных с нарушением сроков;

– сокращение трудозатрат на рутинный контроль и подготовку отчетных материалов;

– повышение прозрачности статусов исполнения поручений для руководства;

– усиление аналитической обоснованности управленческих решений;

– создание основы для тиражирования ИИ-подхода на другие административные процессы.

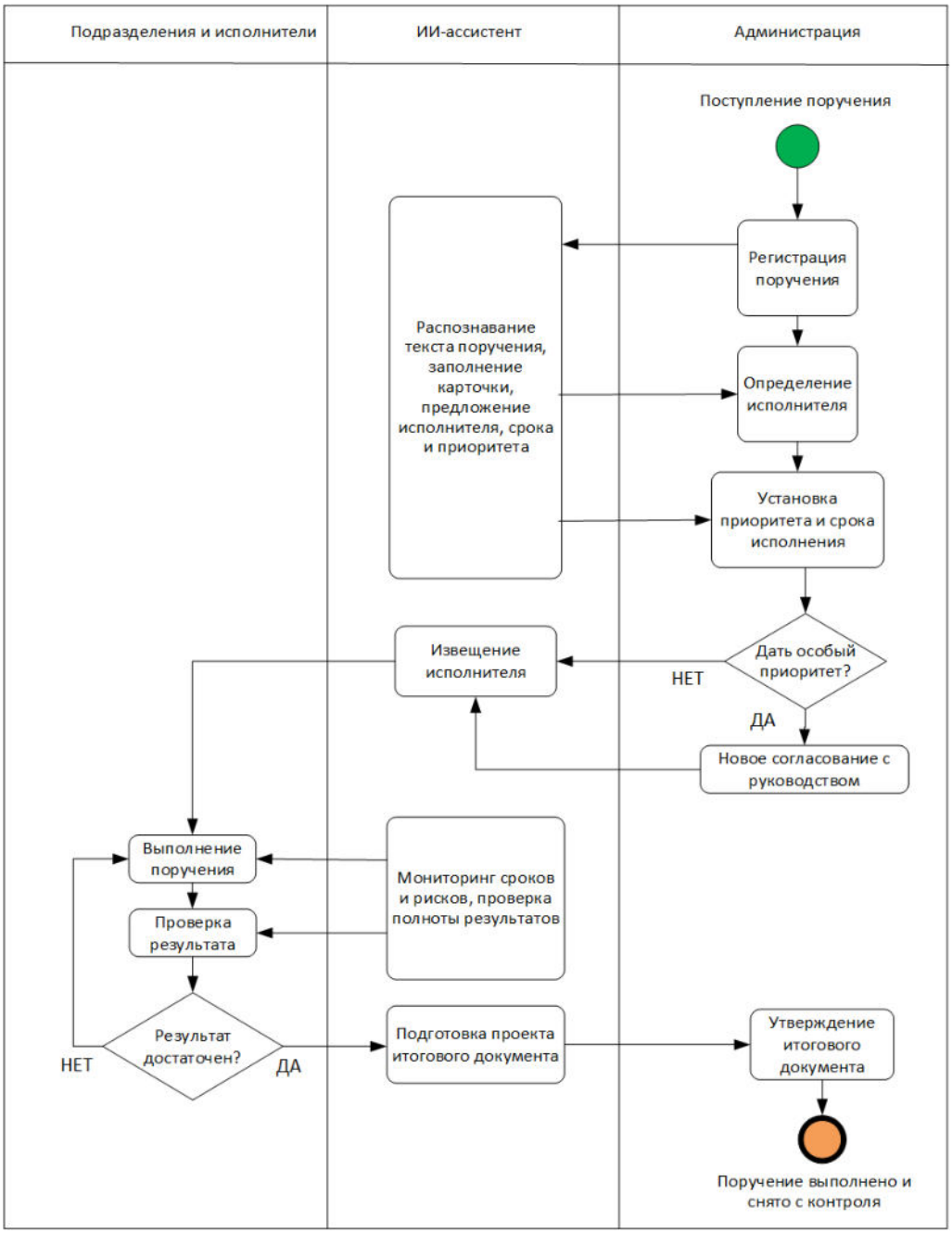


Рис. 2. Организация СКИП АН РТ с ИИ-ассистентом

Итоговая практическая ценность работы заключается в формировании методической и организационно-технической базы для поэтапного внедрения ИИ в систему контроля исполнения поручений с измеримым управленческим результатом.

Список литературы

1. Ракаева, А. Оптимизация бизнес-процессов с помощью ИИ, BPMN 2.0 и систем управления рабочими процессами / А. Ракаева, А. Ракаева // Экономическая серия Вестника ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва. – 2024. – №4. – С. 129–142. – URL: https://www.mendeley.com/catalogue/21e9dce5-80d7-3344-a304-dd6a5ce2f1ab/.

2. Харсанов, Э. Д. Роль инструментов ИИ в принятии управленческих решений / Э. Д. Харсанов // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17. – № 1. – URL: https://esj.today/PDF/81ECVN125.pdf.

3. ИИ-инструменты для генерации BPMN-моделей и оптимизации бизнес-процессов. – URL: https://stormbpmn.com/product/ai-instruments.

4. Система контроля исполнения поручений: интеллектуальная эскалация и интеграция с ИИ. – URL: https://listohod.ru/blog/sistema-kontrolia-ispolneniia-porucenii.

УДК 004.8:351

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАБОТЕ ОРГАНОВ ВЛАСТИ

Быковская Т.А., студент Казанского кооперативного института, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-0077-1817

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN PUBLIC ADMINISTRATION: GENERAL APPROACHES AND ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT TOOLS

Bykovskaya T.A., student at the Kazan Cooperative Institute, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-0077-1817

Аннотация

В статье рассматриваются основные направления применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в деятельности органов государственной власти. В первой части работы анализируются общие функциональные области: прогнозное моделирование социально-экономических показателей, автоматизированная обработка обращений граждан и мониторинг городской инфраструктуры с использованием компьютерного зрения. Во второй части фокус смещается на электронный документооборот как наиболее массовую сферу применения ИИ-алгоритмов. Описаны технологии распознавания текста и извлечения реквизитов из PDF-файлов (включая сканированные копии), методы семантического поиска для обнаружения дублирующих и тематически близких документов, а также алгоритмы автоматической классификации входящей корреспонденции. Показано, что ИИ-инструменты выполняют вспомогательную функцию, сокращая время на выполнение рутинных операций и снижая нагрузку на сотрудников. Отмечены условия эффективного применения: качество исходных данных, актуальность эталонных баз и наличие квалифицированных кадров. Сделан вывод о целесообразности поэтапной интеграции ИИ-решений в существующие информационные системы государственных ведомств.

Ключевые слова: искусственный интеллект, государственное управление, электронный документооборот, машинное обучение, распознавание текста, семантический поиск, классификация документов, прогнозная аналитика, цифровая трансформация, обработка информации

Abstract

The article examines the main areas of artificial intelligence (AI) technologies application in the activities of public authorities. The first part of the work analyzes general functional areas: predictive modeling of socio-economic indicators, automated processing of citizens' appeals, and monitoring of urban infrastructure using computer vision. The second part focuses on electronic document management as the most widespread area of AI algorithms application. Technologies for text recognition and extraction of details from PDF files (including scanned copies), methods of semantic search for detecting duplicate and thematically similar documents, as well as algorithms for

automatic classification of incoming correspondence are described. It is shown that AI tools perform an auxiliary function, reducing time for routine operations and reducing the burden on employees. The conditions for effective application are noted: quality of source data, relevance of reference databases, and availability of qualified personnel. It is concluded that it is advisable to gradually integrate AI solutions into existing information systems of government agencies.

Keywords: artificial intelligence, public administration, electronic document management, machine learning, text recognition, semantic search, document classification, predictive analytics, digital transformation, information processing

Введение

Цифровая трансформация государственного управления предполагает последовательное внедрение технологических решений, направленных на повышение скорости и качества предоставления услуг, снижение нагрузки на сотрудников и минимизацию влияния человеческого фактора при обработке типовых запросов. Среди современных инструментов особое место занимают технологии искусственного интеллекта, которые в последние годы перешли из стадии экспериментальных разработок в практическую плоскость.

В государственных структурах ИИ применяется для решения задач двух основных типов. Первый тип – задачи стратегического и операционного анализа, связанные с обработкой больших объёмов данных: прогнозирование бюджетных показателей, анализ обращений граждан, мониторинг состояния инфраструктуры. Второй тип – задачи делопроизводства и документооборота, которые составляют основную повседневную нагрузку на сотрудников: распознавание входящих документов, извлечение реквизитов, классификация, поиск и проверка на дубли [8].

Цель настоящей работы – представить систематический обзор ключевых направлений применения ИИ в государственном управлении с акцентом на технологии электронного документооборота как наиболее массовой и технологически проработанной области внедрения.

Методика

Исследование основано на анализе открытых источников, включая отчёты ведомств о внедрении цифровых сервисов, данные пилотных проектов по применению алгоритмов машинного обучения в государственном секторе, а также публикации, посвящённые методологии построения прогнозных, классификационных и распознающих моделей. Рассмотрены случаи практического применения ИИ в российской практике государственного управления за период 2022–2026 гг.

Анализ проведён по функциональному принципу: выделены основные группы задач, решаемых с помощью ИИ, и для каждой группы описаны используемые технологические подходы, объёмы обрабатываемых данных и достигаемые результаты.

Основная часть

1. Общие направления применения искусственного интеллекта в государственном управлении

Технологии ИИ внедряются в деятельность органов государственной власти по нескольким направлениям, каждое из которых соответствует конкретному типу обрабатываемых данных и решаемых задач.

1.1. Прогнозное моделирование социально-экономических показателей

На основе архивных данных о поступлении налогов, демографических изменениях, уровне безработицы и других макроэкономических индикаторах строятся модели машинного обучения, позволяющие оценить вероятные значения показателей на несколько месяцев вперёд. Методы ансамблевого обучения, в частности градиентный бустинг, а также рекуррентные архитектуры нейронных сетей демонстрируют более высокую точность по сравнению с классическими эконометрическими подходами при работе с большим количеством взаимосвязанных переменных [1].

В практической деятельности прогнозные модели используются для расчёта потребности в бюджетных ассигнованиях на реализацию региональных программ. Например, на основе данных о возрастной структуре населения и динамике заболеваемости можно предсказать объём необходимых средств на здравоохранение и социальное обеспечение. Это позволяет корректировать плановые назначения в течение финансового года с учётом изменяющейся ситуации.

1.2. Обработка обращений граждан на основе алгоритмов анализа текста

Алгоритмы обработки естественного языка позволяют классифицировать входящие письменные обращения по тематическим категориям, определять степень срочности и автоматически направлять их в соответствующие структурные подразделения. Современные модели машинного обучения способны выделять из текста ключевые сущности: географические названия, даты, упоминания нормативных актов, суммы и периоды [2].

Для анализа текста используются два основных подхода. Первый основан на выделении ключевых слов и фраз, характерных для определённых тематик. Второй – на построении векторных представлений текстов, где смысловая близость документов отражается через расстояние между их числовыми векторами в многомерном пространстве. Второй подход обеспечивает более высокую точность при работе с перефразированными текстами и синонимами.

Это даёт возможность формировать статистические сводки по типам проблем в разрезе территорий. Например, если в определённом районе фиксируется устойчивое увеличение числа обращений по вопросам работы управляющих компаний, данный сигнал становится основанием для проведения внеплановой проверки.

1.3. Мониторинг городской инфраструктуры

В рамках проектов создания умных городских сред системы ИИ используются для анализа видеопотоков с городских камер. Алгоритмы компьютерного зрения, основанные на свёрточных нейронных сетях, позволяют решать следующие задачи: фиксация нарушений правил остановки и стоянки транспорта, выявление несанкционированных рекламных конструкций, определение уровня заполненности контейнерных площадок, контроль состояния дорожного покрытия [3].

Принцип работы таких алгоритмов заключается в последовательном выделении признаков из изображения: от простых (границы, контуры) до сложных (формы объектов, их взаимное расположение). Обучение сети производится на размеченных наборах изображений, где для каждого кадра указано, какие объекты присутствуют и какие действия зафиксированы. После обучения алгоритм способен распознавать аналогичные ситуации на новых кадрах без участия человека.

Данные с камер обрабатываются в автоматическом режиме, и при обнаружении отклонений формируется уведомление, которое направляется в соответствующую службу. Это позволяет перейти от плановых объездов территории к адресным проверкам на основе актуальной информации.

2. Применение искусственного интеллекта в электронном документообороте

Наиболее массовой и технологически проработанной областью применения ИИ в государственных органах является электронный документооборот. Ежедневно через ведомственные системы проходят тысячи входящих и исходящих документов: официальные письма, распоряжения, контракты, акты, справки и служебные записки. Значительная часть этих документов поступает в формате PDF, в том числе в виде отсканированных копий, не содержащих текстового слоя.

ИИ-инструменты позволяют автоматизировать следующие операции, ранее выполнявшиеся вручную [1].

2.1. Распознавание текста и извлечение реквизитов из PDF-файлов

Входящие документы часто представляют собой скан-копии, созданные на бумажных носителях и переведённые в формат PDF. Такой файл не содержит текстового слоя – это графическое изображение страницы. Для того чтобы система могла индексировать, искать и из-

влекать данные из такого документа, требуется применение алгоритмов распознавания символов [4].

Современные алгоритмы распознавания, основанные на нейросетевых архитектурах, работают следующим образом. Изображение страницы разбивается на фрагменты, каждый из которых анализируется на наличие графических элементов, соответствующих буквам и цифрам. На основе большого массива обучающих примеров алгоритм накапливает знания о том, как выглядят различные символы в разных шрифтах и при разных уровнях качества печати. После распознавания отдельных символов они объединяются в слова и предложения с учётом контекста, что позволяет корректировать возможные ошибки.

После распознавания текста система выполняет синтаксический анализ для извлечения структурированных реквизитов. Этот этап реализуется с помощью алгоритмов, обученных на корпусе официальных документов [5]. Например:

– дата идентифицируется по стандартным форматам (ДД.ММ.ГГГГ) и контекстным маркерам («от», «принят», «подписан»);

– номер распознаётся по наличию цифровых групп, часто в сочетании с префиксами (№, исх.);

– отправитель извлекается из подписи или контактного блока в верхней части документа.

Практика показывает, что при достаточном качестве скана точность извлечения реквизитов составляет 92–97%. Это позволяет исключить ручной ввод для большинства типовых входящих документов.

2.2. Семантический поиск и обнаружение похожих документов

Вторая задача, решаемая с помощью ИИ в ЭДО, – поиск документов, близких по смыслу, в массиве уже зарегистрированных. Это важно для предотвращения повторной регистрации одного и того же документа, полученного разными каналами (например, бумажной почтой и электронной системой), а также для поиска прецедентов при подготовке ответов на повторяющиеся запросы.

Традиционный полнотекстовый поиск основан на совпадении слов и фраз. Однако он неэффективен, если документ содержит перефразировки или используются синонимы. ИИ-решения применяют семантический поиск с использованием векторных представлений текстов [5].

В этом подходе текст документа преобразуется в числовой вектор – точку в многомерном пространстве. Алгоритм построения таких векторов обучается на больших массивах текстов таким образом, чтобы документы, близкие по смыслу, оказывались рядом в этом пространстве. Для официальных документов может проводиться дополнительное обучение на ведомственных архивах, чтобы алгоритм лучше распознавал специфическую терминологию и типовые формулировки.

При загрузке нового файла система вычисляет его вектор и сравнивает с векторами существующих записей. Если расстояние до какого-либо документа оказывается меньше заданного порога, система выдаёт предупреждение о вероятном дублировании или ссылается на похожий документ.

2.3. Автоматическая классификация документов

Третье направление – классификация документов по типам и категориям для дальнейшей маршрутизации. Государственные органы работают с широким спектром документов: входящие/исходящие письма, приказы, распоряжения, контракты, акты сверки, служебные записки и др. [6].

Алгоритмы машинного обучения, обученные на размеченной выборке, определяют тип документа по его содержанию и структуре. Входными данными для модели служит либо полный текст после распознавания, либо извлечённые реквизиты. Модель анализирует характерные паттерны.

Процесс классификации строится следующим образом. На этапе обучения алгоритму предъявляются тысячи уже размеченных документов, для каждого из которых известен правильный тип. Алгоритм выявляет закономерности – какие слова, сочетания или структурные элементы чаще всего встречаются в документах каждого типа. После обучения система способна определить тип нового документа на основе этих выявленных закономерностей.

Кроме того, системы классифицируют документы по степени сложности или срочности. Например, документы, содержащие слова «срочно», «безотлагательно», «повестка» в заголовках, получают более высокий приоритет и направляются на рассмотрение в первую очередь. Такая сортировка позволяет оптимизировать потоки внутри ведомства и сократить время прохождения важных решений.

3. Условия эффективного применения ИИ-систем

Внедрение технологий искусственного интеллекта в деятельность органов власти требует соблюдения ряда условий, общих для всех рассмотренных направлений [7].

Первое условие – качество исходных данных. Алгоритмы машинного обучения обучаются на исторических данных, и если эти данные содержат ошибки, пропуски или представлены в не стандартизированных форматах, точность модели снижается. Поэтому этап внедрения системы ИИ должен предваряться работой по унификации и очистке существующих баз данных. Для систем распознавания это означает наличие сканов с достаточным разрешением и контрастностью.

Второе условие – подготовка кадров. Сотрудники органов власти, взаимодействующие с ИИ-инструментами, должны понимать принципы работы алгоритмов, их ограничения и уметь интерпретировать результаты расчётов. Это требует организации программ повышения квалификации, включающих как технические, так и правовые аспекты применения ИИ в государственном секторе.

Третье условие – законодательное регулирование. Использование алгоритмов, влияющих на принятие решений, затрагивающих права граждан, должно быть регламентировано. В настоящее время существует практика, согласно которой решения, имеющие юридические последствия (отказ в выплате, приостановление услуги, присвоение официального статуса), принимаются исключительно должностным лицом, а система ИИ предоставляет лишь справочную или расчётную информацию.

Четвёртое условие – актуальность эталонных баз. Модели для классификации и семантического поиска нуждаются в регулярном обновлении на новых документах, так как формулировки и структура документов могут меняться с течением времени. Для систем поиска дублей необходимо периодическое пересмотрение порогов чувствительности.

Выводы

Анализ текущих практик показывает, что искусственный интеллект в государственном управлении применяется для решения двух основных групп задач. Первая группа связана с анализом больших данных и прогнозированием: бюджетное планирование, обработка обращений граждан, мониторинг инфраструктуры. Вторая, наиболее массовая, группа задач связана с электронным документооборотом: распознавание текста и реквизитов из PDF-файлов (включая сканированные копии), семантический поиск дублирующих документов и автоматическая классификация входящей корреспонденции [8].

Во всех рассмотренных случаях алгоритмы выполняют функцию вспомогательного инструмента, позволяющего сократить время на выполнение рутинных операций и повысить точность расчётов. При этом финальный контроль за принятием решений остаётся за должностными лицами.

Дальнейшее развитие данного направления требует работы по трём основным векторам:

– повышение качества и унификация форматов хранения данных в государственных информационных системах;

– разработка и утверждение методических рекомендаций по применению ИИ в различных сферах государственного управления;

– формирование системы непрерывного обучения государственных служащих навыкам работы с алгоритмическими системами.

Таким образом, применение ИИ в органах власти представляет собой эволюционный процесс, в рамках которого технологии постепенно интегрируются в существующие административные процедуры, повышая их эффективность.

Список литературы

1. ВНИИДАД. Применение искусственного интеллекта в управлении документами и в архивах: практика, тенденции и перспективы: научный доклад. – Москва : ВНИИДАД, 2023. – 112 с.

2. Копылова, Е. И. Использование технологий искусственного интеллекта при анализе обращений граждан / Е. И. Копылова, А. А. Леонов // Modern Science. – 2020. – № 12-1. – С. 431–435.

3. Мишурова, М. О. Применение технологий искусственного интеллекта в строительстве и городском хозяйстве / М. О. Мишурова // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 2. – С. 178–182.

4. Ковальский, А. С. Применение технологии оптического распознавания символов (OCR) для оцифровки архивных документов / А. С. Ковальский, Д. Н. Бирюков // Вестник архивиста. – 2023. – № 2. – С. 56–63.

5. Fedosey S. Semantic Search and RAG Generation for Corporate Documents // Proceedings of the National Research Tomsk State University. 2025.

6. Nosov S.V. Methods of Intellectual Text Analysis for Automatic Classification of Official Documents // Information Technologies. 2022. № 6. P. 312–319.

7. Gromov A.I., Ermakov A.D. Data Quality Management in Corporate Information Systems // Russian Journal of Management. 2023. Vol. 11. № 4. P. 22–28.

8. Chernyshov E.A., Morozova O.N. Application of Artificial Intelligence Technologies in Public Administration // Economics and Management: Problems, Solutions. 2023. Vol. 2. № 3. P. 45–52.

УДК 338.2:004.8

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРОЕКТАХ НЕФИНАНСОВЫХ СЕРВИСОВ: ЭКОНОМИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА, МЕХАНИЗМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Гайнетдинов А.Э., аспирант Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
E-mail: gainetdinov07@gmail.com

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN NON-FINANCIAL SERVICE PROJECTS: ECONOMIC ARCHITECTURE, PERFORMANCE ASSESSMENT MECHANISM AND RISK-ORIENTED MANAGEMENT

Gainetdinov A.E., graduate student Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
E-mail: gainetdinov07@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена исследованию экономической природы проектов внедрения искусственного интеллекта (далее – ИИ) в нефинансовые сервисы и разработке механизма оценки их результативности. Актуальность работы обусловлена переходом ИИ от уровня экспе-

риментального цифрового инструмента к элементу архитектуры клиентских, операционных и аналитических процессов организаций. В отличие от традиционного подхода, при котором эффект ИИ связывается преимущественно с сокращением затрат на отдельную операцию, предлагается рассматривать проект как многоуровневую систему создания стоимости, объединяющую данные, модель, цифровой контур сервиса, сотрудников и механизм контроля результатов. Методологическую основу составили системный, процессный, экономический и риск-ориентированный подходы, а также сравнительный анализ современных принципов управления ИИ и практик его применения в цифровых сервисах. В статье предложена авторская модель AI-NFS, предназначенная для оценки проектов искусственного интеллекта в нефинансовых сервисах по пяти контурам: ценность для клиента, операционная эффективность, качество данных, устойчивость и управляемость рисков. Показано, что экономическая эффективность ИИ-проекта определяется не столько точностью модели, сколько величиной подтвержденного изменения ключевого бизнес-процесса и способностью организации встроить результаты модели в принятие решений. Сформирован набор показателей для расчета прямого, косвенного и стратегического эффекта, а также предложен алгоритм принятия решения о масштабировании проекта. Особое внимание уделено рискам генеративного ИИ, включая недостоверные ответы, утечку данных, смещение результатов, непрозрачность и деградацию модели. Обосновано, что риск должен учитываться не после расчета эффективности, а непосредственно в инвестиционной модели. Сделан вывод о необходимости перехода от оценки отдельных ИИ-инструментов к управлению портфелем ИИ-проектов, в котором инвестиционные решения принимаются на основе измеримой ценности, стоимости риска, воспроизводимости эффекта и способности цифровой инфраструктуры обеспечивать устойчивый результат. Практическая значимость модели состоит в возможности использовать ее при отборе инициатив, проведении пилотов, подготовке инвестиционных обоснований и контроле результатов на разных стадиях жизненного цикла цифрового проекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нефинансовые сервисы, цифровые проекты, генеративный искусственный интеллект, экономическая эффективность, клиентский сервис, цифровая трансформация, управление рисками, данные, бизнес-модель

Abstract

The article examines the economic nature of artificial intelligence projects in non-financial services and develops a mechanism for assessing their performance. The relevance of the study is determined by the transition of artificial intelligence from an experimental digital tool to an element of customer, operational and analytical process architecture. Unlike approaches that associate artificial intelligence primarily with cost reduction in individual operations, the article treats an artificial intelligence project as a multi-layer value-creation system combining data, models, a digital service layer, employees and performance controls. The methodological basis includes systems, process, economic and risk-based approaches, together with a comparative analysis of contemporary artificial intelligence governance principles and practices in digital services. The paper proposes the author's AI-NFS model for evaluating artificial intelligence projects in non-financial services through five dimensions: customer value, operational efficiency, data quality, resilience and risk controllability. The analysis demonstrates that the economic efficiency of an artificial intelligence project depends not only on model accuracy but primarily on the magnitude of verified changes in a key business process and on the organization's ability to integrate model outputs into decision-making. A set of indicators is developed to estimate direct, indirect and strategic effects, and an algorithm for deciding whether to scale an artificial intelligence project is proposed. Particular attention is paid to generative artificial intelligence risks, including inaccurate outputs, data leakage, biased results, lack of transparency and model degradation. The paper argues that risk should be incorporated directly into the investment model rather than assessed after economic efficiency has been calculated. The study concludes that organizations should move from evaluating isolated artificial intelligence tools toward managing

portfolios of artificial intelligence projects, where investment decisions are based on measurable value, risk-adjusted cost, reproducibility of results and the ability of digital infrastructure to deliver sustainable outcomes.

Keywords: artificial intelligence, non-financial services, digital projects, generative artificial intelligence, economic efficiency, customer service, digital transformation, risk management, data, business model

Введение

Искусственный интеллект в настоящее время становится не отдельной технологической функцией, а одним из механизмов перестройки экономической модели организации. В обновленном определении Организации экономического сотрудничества и развития искусственный интеллект рассматривается как машинная система, которая для заданных или неявных целей формирует на основе входных данных прогнозы, контент, рекомендации или решения, способные влиять на физическую либо виртуальную среду [1]. Такая трактовка принципиальна для анализа нефинансовых сервисов: экономический эффект возникает не в момент получения системой ответа или прогноза, а в момент, когда этот результат изменяет поведение клиента, сотрудника или бизнес-процесса.

Нефинансовые сервисы в данной работе понимаются как услуги, не являющиеся собственно финансовыми продуктами, но создающие самостоятельную потребительскую или корпоративную ценность: электронная коммерция, доставка, транспорт, туризм, недвижимость, телекоммуникации, образование, медицина, бытовые и профессиональные услуги, сервисы бронирования, цифровые платформы и экосистемные услуги. Их объединяет высокая интенсивность взаимодействия с пользователем и наличие большого количества данных о поведении, запросах и результатах обслуживания. Именно поэтому ИИ в них может воздействовать одновременно на выручку, себестоимость, качество сервиса и удержание клиента.

Современная практика показывает ускорение корпоративного использования ИИ. По данным Stanford AI Index 2026, доля опрошенных организаций, сообщающих об использовании ИИ хотя бы в одной бизнес-функции, достигла 88% в 2025 г. против 78% в 2024 г.; генеративный ИИ использовался хотя бы в одной функции 79% респондентов против 71% годом ранее [2]. Это свидетельствует о переходе ИИ из области экспериментальных проектов в область регулярных управленческих и операционных практик.

При этом рост распространения технологии сам по себе не означает автоматического роста экономической отдачи. Организация может иметь множество пилотных решений, но не получать сопоставимого результата вследствие низкого качества данных, слабой интеграции, отсутствия ответственного владельца процесса и невыстроенной системы контроля. Таким образом, возникает противоречие между технологической доступностью ИИ и способностью организации преобразовать его возможности в устойчивый экономический результат.

Традиционный инвестиционный подход позволяет оценивать ИТ-проект через бюджет, срок окупаемости и экономию затрат. Для ИИ-проектов этого недостаточно. Их результат зависит от вероятностной природы моделей, изменения поведения пользователей, качества исходных данных, стоимости ошибок и необходимости постоянного контроля. Поэтому один и тот же ИИ-инструмент может иметь положительный эффект в одном процессе и отрицательный в другом.

Цель исследования состоит в разработке экономически ориентированного механизма оценки и управления проектами внедрения ИИ в нефинансовых сервисах. Для достижения цели решаются задачи определения экономической специфики ИИ-проектов, систематизации каналов формирования эффекта, разработки модели оценки, системы показателей и условий масштабирования, а также включения риск-ориентированного контура в инвестиционное решение.

Научная новизна работы заключается в переносе фокуса с оценки технологической характеристики модели на оценку изменения бизнес-процесса. Предлагается рассматривать

ИИ-проект как связку «данные – модель – решение – действие – экономический результат», а его эффективность определять с учетом стоимости ошибок и организационной способности использовать результат модели.

Методика

Методика исследования основана на сочетании системного, процессного, экономического и риск-ориентированного подходов. Системный подход позволяет рассматривать ИИ-проект не как программный модуль, а как совокупность взаимосвязанных компонентов. Процессный подход используется для выявления точки, в которой результат модели преобразуется в конкретное управленческое или клиентское действие. Экономический подход обеспечивает расчет результата в стоимостной форме. Риск-ориентированный подход необходим для учета отрицательных последствий ошибок и неконтролируемого поведения системы.

В качестве методологического ориентира использована концепция OECD, согласно которой ИИ-система генерирует прогнозы, контент, рекомендации или решения на основе входных данных [1]. Для управления рисками применен подход NIST AI Risk Management Framework, предусматривающий функции Govern, Map, Measure и Manage -управление, картирование, измерение и управление рисками [3].

Для генеративного ИИ дополнительно учитываются специфические риски, систематизированные в профиле NIST AI RMF [4]. Профиль рассматривает генеративный ИИ как отдельный объект риск-менеджмента, что позволяет учитывать особенности генерации контента, недостоверных ответов, утечек информации и иных рисков, не сводимых к обычной оценке точности модели.

Предлагаемый аналитический контур строится в пять этапов: декомпозиция сервиса; определение функции ИИ; построение цепочки «модель – решение – действие»; расчет прямого, косвенного и стратегического эффекта; корректировка эффекта на риск.

Основная часть

Основное отличие ИИ-проекта от классического цифрового проекта состоит в том, что результат системы не является полностью детерминированным. При разработке обычного информационного сервиса организация может заранее определить последовательность операций. В ИИ-системе результат зависит от данных, модели, контекста и режима эксплуатации. Это формирует дополнительный слой экономической неопределенности.

Можно выделить четыре уровня воздействия ИИ на нефинансовый сервис: автоматизация; интеллектуальное усиление сотрудника; персонализация; изменение архитектуры сервиса.

Первый уровень – автоматизация. ИИ сокращает количество ручных операций. Примером является автоматическое формирование ответа, классификация обращения, извлечение данных из документов или первичная обработка заявки. Экономический эффект здесь относительно легко измеряется через сокращение трудозатрат.

Второй уровень – интеллектуальное усиление сотрудника. Система не заменяет работника, а уменьшает время поиска информации, подготовки документа или принятия решения. Экономический эффект возникает через рост производительности без пропорционального увеличения численности персонала.

Третий уровень – персонализация. ИИ анализирует контекст клиента и формирует индивидуальные рекомендации. Здесь основной эффект может выражаться не в экономии затрат, а в росте конверсии, среднего чека, частоты повторных покупок и срока жизни клиента.

Четвертый уровень -изменение архитектуры сервиса. ИИ становится посредником между пользователем и набором цифровых функций. Клиент не выбирает отдельную операцию в интерфейсе, а формулирует задачу, после чего система определяет последовательность действий. В этом случае меняется не отдельная операция, а способ потребления услуги.

Для структурирования анализа предлагается авторская модель AI-NFS (Artificial Intelligence – Non-Financial Services). Она включает пять взаимосвязанных контуров.

Смысл модели заключается в отказе от единственного KPI. Точность модели может быть высокой, но если она встроена в неэффективный процесс, экономический результат будет низким. Аналогично, модель со средней точностью может давать высокий эффект, если стоимость ошибочного решения невелика, а экономия на каждой операции значительна.

Для комплексной оценки предлагается использовать интегральный индекс:

$$AI\text{-}NFSI = w_1C + w_2O + w_3D + w_4R + w_5G,$$

где C – нормированный показатель клиентской ценности;

O – операционной эффективности; D – качества данных и модели;

R – устойчивости;

G – управляемости рисков;

w_1 – веса соответствующих контуров, сумма которых равна единице.

Весовые коэффициенты должны определяться не одинаково для всех сервисов. Например, для рекомендательной системы интернет-магазина более высокий вес может иметь клиентская ценность, тогда как для автоматизации обработки корпоративных документов-операционная эффективность и качество.

Механизм расчета экономического эффекта

Экономический эффект целесообразно рассчитывать как изменение результата процесса между базовым и целевым состоянием:

$$E = (R_1 - C_1) - (R_0 - C_0),$$

где R_1 и R_0 – результаты после и до внедрения ИИ;

C_1 и C_0 – совокупные затраты после и до внедрения.

Затраты ИИ-проекта должны включать не только стоимость разработки или лицензии, но и подготовку данных, интеграцию, вычислительную инфраструктуру, тестирование, мониторинг, обучение сотрудников, информационную безопасность и стоимость контроля.

Для сервисов, ориентированных на клиента, целесообразно выделять компонент:

$$Ecustomer = \Delta CR \times M \times N - C_AI,$$

где ΔCR – изменение конверсии;

M – маржинальный доход на одну успешную транзакцию;

N – объем релевантного клиентского потока;

C_AI – совокупные расходы на ИИ-контур.

Для автоматизации труда применяется:

$$Elabor = \Delta T \times C_h \times N - C_AI,$$

где ΔT – экономия рабочего времени на одну операцию;

C h – стоимость единицы рабочего времени;

N – количество операций.

Для риск-корректированного результата вводится:

$$E_adj = E - P(error) \times L(error),$$

где P(error) – вероятность значимой ошибки;

L(error) – экономический ущерб от такой ошибки.

Именно риск-корректированный эффект должен использоваться для инвестиционного решения. Это особенно важно для генеративного ИИ, поскольку система может сформировать убедительный, но фактически неверный ответ. Современные рекомендации по управлению ИИ указывают на необходимость учитывать надежность, безопасность, прозрачность, объяснимость, конфиденциальность и справедливость [3, 4].

Наиболее очевидный сценарий – интеллектуальные помощники. Но экономическая ценность возникает только при переходе от модели «вопрос – ответ» к модели «запрос – выполнение задачи». Например, пользователь может не спрашивать, где находится нужная услуга, а поручить системе подобрать вариант, сравнить условия и сформировать заявку.

В первом случае ИИ снижает нагрузку на контакт-центр. Во втором – меняет клиентский путь и способен влиять на конверсию. Поэтому оценивать такие проекты только количеством обработанных диалогов методологически неверно.

Ключевым показателем становится доля запросов, завершившихся целевым действием без повторного обращения. Дополнительным показателем является стоимость полностью решенного обращения.

В электронной коммерции ИИ способен объединять прогноз спроса, персональные рекомендации, поиск, генерацию описаний, ценообразование и управление запасами. В этом случае возникает эффект второго порядка: улучшение одного участка влияет на остальные.

Например, более точный прогноз спроса снижает дефицит товара. Снижение дефицита увеличивает вероятность покупки. Увеличение доступности товара повышает эффективность рекламного трафика. Следовательно, эффект ИИ не должен суммироваться как независимая экономия по каждому модулю, поскольку между ними существует взаимозависимость.

Для логистических сервисов ИИ может применяться для прогнозирования спроса, маршрутизации, распределения ресурсов и прогнозирования времени доставки. Экономический результат формируется через снижение холостого пробега, повышение загрузки и сокращение времени исполнения.

Особенность данного сегмента – высокая цена ошибок. Неверный прогноз может привести к нехватке ресурсов в пиковый период, а неудачная оптимизация маршрута – к каскадному увеличению задержек. Поэтому для логистических проектов целесообразно использовать не среднюю точность модели, а стоимость ошибки на уровне маршрута или заказа.

В образовании ИИ может выполнять диагностику знаний, персонализацию заданий и сопровождение пользователя. В профессиональных услугах – анализ документов, подготовку черновиков, поиск нормативной и корпоративной информации.

Здесь возникает принцип human – in – the – loop, при котором критическое решение остается за человеком. NIST рассматривает человеческий контроль и управляемость как важные элементы надежного применения ИИ [3]. Экономический эффект такой архитектуры ниже, чем у полной автоматизации на отдельной операции, но она способна существенно уменьшать риск дорогостоящей ошибки.

Ошибкой является рассмотрение рисков ИИ как отдельного юридического приложения к уже рассчитанному бизнес-кейсу. В действительности риск должен быть включен в экономику проекта с момента его проектирования.

Первый риск – качество данных. Если данные неполны, устарели или не отражают текущую структуру спроса, модель может демонстрировать приемлемые тестовые показатели, но терять качество в эксплуатации. Следовательно, инвестиции должны направляться не только на модель, но и на управление данными.

Второй риск – смещение. Если исторические данные содержат систематические ошибки, ИИ может воспроизводить их в автоматизированном режиме.

Третий риск – непрозрачность. Чем выше влияние результата ИИ на клиента, тем выше требования к объяснимости решения.

Четвертый риск – безопасность. Утечка данных через запросы, несанкционированное использование модели или атаки на инфраструктуру способны превратить экономический эффект в отрицательный.

Пятый риск – деградация модели. Изменение поведения клиентов, ассортимента или внешней среды приводит к снижению качества модели. Поэтому экономическая модель ИИ-проекта должна учитывать расходы на постоянный мониторинг и переобучение.

Риск-ориентированная архитектура должна охватывать весь жизненный цикл. NIST предлагает рассматривать управление рисками как непрерывный процесс, включающий функции Govern, Map, Measure и Manage [3]. Для бизнеса это означает, что контроль не заканчивается после запуска модели.

В условиях роста числа пилотных решений возникает проблема конкуренции ИИ-проектов за бюджет. Поэтому организации необходимо управлять не отдельными внедрениями, а портфелем.

Предлагается классифицировать проекты по двум параметрам: потенциальная экономическая ценность и риск-корректированная сложность.

К первой группе относятся проекты с высокой ценностью и контролируемым риском. Их следует масштабировать в приоритетном порядке.

Ко второй – проекты с высокой потенциальной ценностью, но значительным риском. Для них целесообразен ограниченный пилот и расширенный контур контроля.

К третьей – проекты с низкой ценностью и низким риском. Они могут внедряться как локальная автоматизация, если требуют небольших затрат.

К четвертой – проекты с низкой ценностью и высоким риском. Их рационально прекращать независимо от технологической привлекательности.

Практический алгоритм принятия решения предлагаем следующую последовательность:

1. Определить бизнес-проблему без упоминания ИИ.
2. Зафиксировать базовую метрику процесса.
3. Установить, какое действие должно измениться вследствие работы ИИ.
4. Определить необходимые данные и ограничения их использования.
5. Рассчитать базовую стоимость ошибки.
6. Сформировать минимальный жизнеспособный ИИ-проект.
7. Провести пилот с контрольной группой.
8. Рассчитать прирост результата и риск-корректированный эффект.
9. Оценить AI-NFSI.
10. Принять решение о масштабировании, доработке или прекращении.

Ключевым элементом является контрольная группа. Без нее организация рискует приписать ИИ результат, который возник под влиянием сезонности, маркетинговой кампании или иных изменений. Поэтому экспериментальный дизайн является предпочтительным методом подтверждения эффекта.

На этапе пилота необходимо разделять технологические и экономические KPI. К технологическим относятся точность, полнота, скорость ответа, доля отказов и стабильность. К экономическим – стоимость операции, конверсия, удержание, выручка, маржинальный доход и производительность труда.

Проведенный анализ позволяет сделать несколько выводов. Во-первых, экономическая ценность ИИ в нефинансовых сервисах формируется преимущественно на уровне бизнес-процесса, а не алгоритма. Техническая точность является необходимым, но недостаточным условием.

Во-вторых, наиболее перспективны проекты, в которых ИИ влияет одновременно на клиентский результат и операционную эффективность. Такой двойной эффект сложнее получить, но он создает более устойчивую экономическую модель.

В-третьих, генеративный ИИ снижает барьер для создания новых сервисов, однако одновременно увеличивает требования к управлению качеством и рисками. Выделение генеративного ИИ в отдельный профиль NIST подтверждает необходимость адаптации стандартного подхода [4].

В-четвертых, масштабирование должно осуществляться только после подтверждения воспроизводимости эффекта. Единичный успешный пилот не является доказательством экономической эффективности.

В-пятых, качество данных становится самостоятельным фактором инвестиционной привлекательности. Если организация не располагает устойчивым контуром данных, инвестиции в ИИ могут иметь низкую отдачу независимо от выбора модели.

В-шестых, ИИ-проекты необходимо оценивать по жизненному циклу. Разовые затраты на разработку не отражают полной стоимости владения. В нее входят мониторинг, обновление моделей, контроль качества, информационная безопасность и обучение сотрудников.

В-седьмых, стратегический эффект должен рассматриваться отдельно от краткосрочного финансового результата. ИИ может создавать инфраструктурные способности организации – например, единый слой данных и интеллектуального взаимодействия, которые затем используются в нескольких сервисах.

Выводы

Искусственный интеллект в нефинансовых сервисах следует рассматривать как инструмент изменения экономической архитектуры организации. Его значение выходит за рамки автоматизации отдельных операций и распространяется на клиентский путь, управление спросом, персонализацию, производительность, качество решений и создание новых сервисных моделей.

Разработанная модель AI-NFS позволяет объединить пять характеристик проекта: клиентскую ценность, операционную эффективность, качество данных и моделей, устойчивость и управляемость рисков. Ее применение позволяет избежать ошибки, при которой инвестиционное решение принимается на основании технических характеристик ИИ без оценки фактического изменения бизнес-процесса.

Наиболее важным результатом исследования является положение о необходимости перехода от показателя «точность модели» к показателю «экономический результат решения». Для этого предлагается использовать риск-корректированный эффект, в котором потенциальная стоимость ошибок вычитается из ожидаемого результата.

Практическая значимость предложенного подхода состоит в возможности применять его при формировании портфеля ИИ-проектов в компаниях, развивающих цифровые и нефинансовые сервисы. Модель может использоваться на стадиях отбора инициатив, пилотирования, инвестиционного комитета и последующего контроля результата.

Перспективным направлением дальнейших исследований является эмпирическая проверка AI-NFSI на выборке реальных проектов с использованием квазиэкспериментальных методов и панельных данных. Это позволит определить статистически значимые связи между глубиной интеграции ИИ и изменением выручки, производительности, клиентского удержания и стоимости обслуживания.

Таким образом, конкурентное преимущество организации в эпоху ИИ будет определяться не самим фактом использования искусственного интеллекта, а способностью превращать данные и модели в воспроизводимый экономический результат при контролируемом уровне риска.

Список литературы

1. OECD. Explanatory memorandum on the updated OECD definition of an AI system // OECD Artificial Intelligence Papers. – 2024. – № 8. – DOI 10.1787/623da898-en.

2. Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. The 2026 AI Index Report. – Stanford: Stanford University, 2026.

3. Tabassi, E. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) / E. Tabassi. – Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2023. – 48 p. – DOI 10.6028/NIST.AI.100-1.

4. Autio, C. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile / C. Autio, R. Schwartz, J. Dunietz [et al.]. – Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2024. – 40 p. – DOI 10.6028/NIST.AI.600-1.

5. OECD. OECD Digital Economy Outlook 2024. Vol. 1: Embracing the Technology Frontier. – Paris: OECD Publishing, 2024. – DOI 10.1787/a1689dc5-en.

6. European Union. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) // Official Journal of the European Union. – 2024. – L 2024/1689.

7. Dwivedi, Y. K. So what if ChatGPT wrote it? Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy / Y. K. Dwivedi, N. R. Pandey, M. A. S. P. [et al.] // International Journal of Information Management. – 2023. – Vol. 71. – Art. 102642. – DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642.

8. Feuerriegel, S. Generative AI / S. Feuerriegel, J. Hartmann, C. Janiesch, P. Zschech // Business & Information Systems Engineering. – 2024. – Vol. 66. – P. 111–126. – DOI 10.1007/s12599-023-00834-7.

9. Банк России. Применение искусственного интеллекта на финансовом рынке: текущий статус и условия дальнейшего развития: доклад для общественных консультаций. – Москва : Центральный банк Российской Федерации, 2025.

10. Банк России. Применение искусственного интеллекта на финансовом рынке: итоги обсуждения доклада Банка России. – Москва : Центральный банк Российской Федерации, 2026.

УДК 338.48

ЦИФРОВАЯ ЭКОСИСТЕМА HEXTRAVEL КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА В РЕГИОНАХ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Гальперин М.Д., студент бакалавриата, лаборант;
ORCID: 0009-0007-7753-7243;
E-mail: mishafreeman2709@gmail.com;
Панин А.А., студент бакалавриата;
ORCID: 0009-0009-6093-4992;
E-mail: antonpanin2006@gmail.com;
Прокопьев Н.А., доцент Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

THE HEXTRAVEL DIGITAL ECOSYSTEM AS A TOOL FOR DEVELOPING INDEPENDENT TOURISM IN REGIONS OF RUSSIA (USING THE REPUBLIC OF TATARSTAN AS AN EXAMPLE)

Galperin M.D., Bachelor's Student, Laboratory Assistant;
ORCID: 0009-0007-7753-7243;
E-mail: mishafreeman2709@gmail.com;
Panin A.A., Bachelor's Student;
ORCID: 0009-0009-6093-4992;
E-mail: antonpanin2006@gmail.com;
Prokopyev N.A., Associate Professor, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0066-7465
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

Аннотация

В статье исследуется трансформация поведения внутренних туристов в России и ее влияние на требования к цифровым туристическим сервисам на примере Республики Татарстан. Цель исследования – обосновать применение специализированной цифровой экосистемы HexTravel для поддержки самостоятельного туриста, включая этапы планирования и непосредственного пребывания в путешествии. В качестве эмпирической базы использованы данные ВЦИОМ, СберАналитики, Государственного комитета Республики Татарстан по туризму и Ассоциации туроператоров России, а также проектные материалы HexTravel. Показано, что развитие самостоятельной модели путешествий сопровождается ростом роли онлайн-платформ, потребности в достоверной информации, персонализации и цифровой поддержке в нештатных ситуациях. На этом фоне традиционная модель туристического посредничества частично теряет доминирующее положение именно в сегменте самостоятельных поездок: по данным ВЦИОМ, 84% российских внутренних туристов организуют поездки самостоятельно, а 63% бронируют услуги через онлайн-платформы. В статье систематизированы функциональные требования к цифровой экосистеме и предложено решение HexTravel на основе offline-first архитектуры, персонализированных карт, маршрутизации, интеграции с агрегаторами и инструментов обратной связи. Для Республики Татарстан приведены расчетные показатели проектного охвата. Сделан вывод о целесообразности специализированных региональных цифровых решений как дополнения к универсальным картографическим приложениям и сервисам бронирования.

Ключевые слова: туризм, Республика Татарстан, цифровая экосистема, архитектура offline-first, умная карта, персонализация маршрутов, юнит-экономика

Abstract

The article examines the transformation of domestic tourists' behavior in Russia and its impact on the requirements for digital tourism services, using the Republic of Tatarstan as an example. The aim of the study is to substantiate the use of the specialized digital ecosystem HexTravel to support independent travelers, including the stages of planning and the actual stay at the destination. The empirical base consists of data from VCIOM, SberAnalytics, the State Committee for Tourism of the Republic of Tatarstan, and the Association of Tour Operators of Russia, as well as HexTravel project materials. It has been shown that the development of an independent travel model is accompanied by an increasing role of online platforms, the need for reliable information, personalization, and digital support in emergency situations. Against this backdrop, the traditional model of travel intermediation is partially losing its dominant position in the independent travel segment: according to VCIOM, 84% of Russian domestic tourists organize their trips independently, and 63% book services through online platforms. This article systematizes the functional requirements for a digital ecosystem and proposes the HexTravel – a solution based on offline-first architecture, personalized maps, routing, integration with aggregators, and feedback tools. Estimated project coverage indicators are provided for the Republic of Tatarstan. Conclusion is reached regarding the feasibility of specialized regional digital solutions as a complement to universal GIS applications and booking services.

Keywords: tourism, digital ecosystem, offline-first architecture, smart map, route personalization, unit economics

1. Введение

Российский внутренний туризм развивается из года в год количественно и структурно. Рост числа поездок сопровождается изменением способа их организации: турист получает возможность самостоятельно выбирать транспорт, размещение и отдельные активности, сопоставляя предложения нескольких цифровых сервисов. Научные работы по самостоятельному туризму [1, 2] рассматривают это как устойчивую форму, развитие которой тесно связано с информационными технологиями и увеличением доступности к цифровой информации.

Актуальность данного направления подтверждается статистикой. По данным ВЦИОМ [3], подавляющее большинство российских внутренних туристов организуют отдых самостоятельно, тогда как доля клиентов турагентов упала до 11%. При этом молодежная аудитория (18-24 лет) практически полностью перешла на онлайн-бронирование, что задает вектор развития цифровых сервисов на годы вперед.

При этом некорректно говорить об исчезновении туроператоров. Внутри организованного сегмента сохраняются востребованные комплексные продукты, однако самостоятельный турист все чаще получает возможность заменить часть функций цифровыми сервисами. Дополнительным индикатором структурного сдвига служит оценка Ассоциации туроператоров России (АТОР) [4]: объем бронирований в организованном сегменте внутреннего туризма в летний сезон 2025 г. сократился примерно на 13% относительно 2024 г. ВЦИОМ же фиксирует высокий уровень требований именно к цифровым каналам: пользователи ожидают поддержки при сбоях и отменах, достоверной информации о поставщиках и удобного поиска и бронирования.

Экономический масштаб изменений также заметен. По данным СберАналитики [5], за январь-ноябрь 2025 г. россияне совершили 164 млн поездок по России, что на 7,5% больше аналогичного периода 2024 г., а расходы составили 1,83 трлн руб. При этом 55,5% поездок пришлось на десять наиболее посещаемых регионов, что свидетельствует о сохраняющейся пространственной концентрации туристского спроса. Для регионов возникает задача привлечения и удержания туристов, постройка цифровой среды, инфраструктуры способной направлять их к разнообразным объектам и маршрутам.

Цель исследования – определить функциональные и технологические требования к цифровой экосистеме самостоятельного туризма и показать, каким образом архитектура проекта HexTravel отвечает выявленным потребностям.

2. Материалы и методы

Исследование проведено на основе статистического и проектно-аналитического подходов. В качестве внешней эмпирической базы использованы данные ВЦИОМ о моделях бронирования российских внутренних туристов [3], аналитика АТОР по организованному сегменту [4], материалы СберАналитики о динамике поездок и расходов [5], а также оперативные и итоговые сведения Государственного комитета Республики Татарстан по туризму [6, 7].

Теоретическая часть опирается на исследования самостоятельного туризма и технологии проектирования самостоятельных маршрутов [1, 2]. Проектная часть исследования включает анализ функциональной архитектуры HexTravel: хранение картографических данных, предварительный отбор категорий точек интереса (POI), персонализацию маршрутов, интеграцию с внешними сервисами бронирования, цифровые маршруты для гидов и механизмы обратной связи. Для оценки проектного потенциала использованы внутренние расчетные показатели аудитории и монетизации проекта.

При интерпретации показателей учитывалось различие методик подсчета туристической активности. Показатель СберАналитики отражает количество поездок за 11 месяцев и основан на агрегированных обезличенных данных, тогда как региональная статистика Татарстана характеризует туристский поток в рамках региональной методики. Поэтому эти величины используются для характеристики масштаба рынка, а не для прямого сопоставления между собой.

3. Изменение модели туристического поведения

Переход к самостоятельной организации путешествий прежде всего связан с цифровизацией этапа поездки и слабой или не успевающей цифровизацией услуг. Ранее туристу для сбора информации приходилось обращаться к нескольким специализированным источникам и посредникам. Современные платформы позволяют выполнять поиск, сравнение и бронирование онлайн, а научные исследования самостоятельного туризма поднимают вопросы работы с картографическими, информационными и коммерческими ресурсами [2].

Данные ВЦИОМ [3] позволяют заметить этот сдвиг: из 84% туристов, организующих поездки самостоятельно, 63% используют онлайн-платформы для бронирования. Это означает, что значительная часть информационных и транзакционных функций, ранее связанных с агентским посредничеством, переместилась в цифровую среду. Если рассматривать возрастную группу 18-24 лет, самостоятельное онлайн-бронирование достигает 78 %, что диктует инновационные требования к UX/UI цифровых продуктов, ориентированных на аудиторию нового поколения.

Цифровая модель создает для пользователя возможность самостоятельно сравнивать предложения, выбирать состав поездки и изменять отдельные элементы маршрута. Следовательно, конкурентным преимуществом цифрового сервиса становится снижение информационных издержек пользователя, предоставление целостного контекста поездки при быстрой скорости и более дешевой цене. Однако, поиск информации зачастую приводит к идентичному содержанию найденной группы сайтов. По запросу «Интересные места Казани» в выборке из 10 сайтов схожесть информации составила до 70%. Использование туристом ИИ на основе доступных больших языковых моделей (LLM) не решает эту проблему так, как в данном случае тоже происходит интерпретация результатов поисковых запросов, а само взаимодействие с LLM требует промпт-инжиниринга.

4. Региональный контекст Республики Татарстан

Республика Татарстан размещает в городах объекты для внедрения специализированных цифровых и/или информационных туристических инструментов. По итогам 2025 г. туристский поток в Татарстане достиг 4,5 млн человек, рост составил 5% с 2024 г. [6, 7].

Для развития туристического сектора региона необходимо обращать внимание на территории вне его центра. Из-за постоянного роста числа автоводителей, а также в условиях доступности аренды автотранспорта, возрастает значимость маршрутов по малым городам, природным территориям, историческим объектам и локальным точкам притяжения. В таких условиях и трендах на цифровизацию сектора туризма региону остро необходим механизм, который свяжет туристский спрос с предложением убирая бумажные носители, представителей из оборота. Решение должно предоставлять туристу за короткое время полную и разнообразную информацию, а функционал должен исключать необходимость в дополнительном поиске информации.

В этом контексте функция цифровой экосистемы может быть представлена как связка функций:

– информационных (что доступно в регионе);

– навигационных (как добраться и выстроить маршрут);

– сервисных (как забронировать и получить поддержку).

Именно их объединение составляет основу архитектуры HexTravel.

5. Архитектурное решение проекта HexTravel

Ключевым технологическим решением проекта HexTravel является offline-first подход к архитектуре и содержания карт. Перед поездкой пользователь формирует собственный профиль интересов, и скачивает только релевантные ему категории точек интереса на карте. Такой подход позволяет уменьшить объем загружаемых данных, ускорить общую загрузку, облегчить обновление и сохранить функциональность карты в удаленных и слабо покрытых территориях [9]. Данный подход работает со спросом на персонализацию, которые присутствует в картах общего пользования (например Яндекс карты, 2GIS, Maps.me, и пр.). Сценарий поездки по малым городам, природным территориям и загородным объектам предполагает неоднородное качество мобильной связи [9], потому выбор подобной архитектуры удобен для категорий туристов вне крупных городов и способствует развитию районов субъекта.

Немаловажной функцией является персональная маршрутизация на основе Больших языковых моделей. Пользователь, как и любой потребитель, не всегда знает, что конкретно

ему необходимо в определенный промежуток свободного времени. Модели в данном случае существуют для предоставления рекомендаций на основе имеющейся информации о пользователе, времени, геолокации. В сочетании с геймификацией это позволяет преобразовать карту в механизм исследования. Универсальные карты отвечают прежде всего на вопрос «Как добраться?», тогда как необходимая для развития туризма экосистема должна отвечать на вопросы «Куда пойти?», «Что посмотреть?» и «Как связать объекты в последовательный маршрут?».

Сервисная интеграция и дополнительный функционал также являются важным аспектом архитектуры. Проект предусматривает объединение в одном интерфейсе транспортных сценариев и сценариев бронирования, цифровых документов, рекомендаций, пользовательских отзывов и локальной информации. Интеграция внешних цифровых сервисов через программные интерфейсы позволяет объединять разнородные функции в рамках единой пользовательской среды, снижая необходимость последовательного обращения к нескольким платформам [10], а тенденция к необходимости получения быстрого и эффективного решения без необходимости дополнительного поиска доказывают релевантность данного решения. Информация и документы призваны помочь иностранным гостям легче коммуницировать с исполнителями услуг, местными жителями и представителями правоохранительных и/или здравоохранительных органов за счет генерации цифровой карточки/визитки с указанием временного места проживания, языках коммуникации и пр. Для B2B-сегмента предусмотрены цифровые маршруты гидов с таймингом и обратной связью по отдельным точкам, что создает инструмент повышения качества туристического продукта на стороне поставщика.

6. Соответствие выявленным потребностям

Выявленные в исследовании потребности современного туриста позволяют сопоставить их с функциональными компонентами HexTravel: система персонализации маршрутов, интеграция с агрегаторами бронирования транспорта, жилья и локальных активностей, цифровой раздел документов, встроенный переводчик и памятки для иностранных туристов, B2B-модуль для гидов и туроператоров. Так, высокий уровень бронирования через агрегаторы, запрос на достоверные данные, поддержку в форс-мажорных ситуациях обосновывает релевантность и необходимость вышеописанных функций и механизмов. А потребность в планировании нескольких составляющих путешествия в одном месте обосновывает интеграционную модель платформы.

Отдельное значение имеет территориальный аспект. Если сервис показывает туристу преимущественно наиболее известные объекты, рост турпотока не приводит к равномерному распределению экономического эффекта. Региональные органы власти Республики Татарстан отмечают необходимость обновления туристического продукта и развития новых форматов, специализированная карта с персональными маршрутами может выступать инструментом перераспределения внимания туристов от перегруженных локаций к дополнительным точкам притяжения отвечая требованиям национальных проектов Российской Федерации – «Цифровая Экономика» и «Туризм и индустрия гостеприимства».

Таким образом, ценность HexTravel определяется глубокой интеграцией нескольких механизмов и функций: offline-first карты, персонализация, маршрутизация, бронирования, сообщества и B2B-модулей. Это позволяет рассматривать платформу, как единую региональную экосистему сопровождения туристов наподобие «ГосУслуг».

7. Заключение

Проведенный анализ показывает, что российский внутренний туризм развивается в условиях одновременного роста числа поездок и изменения способов их организации. Совокупность данных ВЦИОМ и АТОР указывает на структурный сдвиг в сторону более самостоятельной и цифровой модели потребления туристических услуг, хотя организованный туризм

недостаточно цифровизирует свои услуги, чтобы покрыть спрос, однако сохраняет свои отдельные рыночные ниши. Для региона с растущим туристским потоком, такого как Республика Татарстан, задача цифровизации состоит в сохранении привлекательности и уникальности региона в отличии от заграничных аналогов, как для внутреннего и внешнего туристических рынков.

Архитектура HexTravel отвечает указанной задаче, проектная модель показывает специализированную цифровую инфраструктуру, ориентированную на путешественника и на повышение доступности менее известных объектов региона.

Полученные результаты позволяют рассматривать цифровые экосистемы самостоятельного туризма как перспективный инструмент региональной туристической политики. Дальнейшие исследования целесообразно связывать с количественной оценкой пользовательского поведения внутри платформы, сравнением эффективности разных моделей персонализации и теста предполагаемого решения на туристических маршрутах Республики Татарстан.

Благодарности

Авторы выражают благодарность команде разработки проекта-резидента ИТ-парка HexTravel, сотрудникам и резидентам Информационно-технологического парка за содействие в подготовке проектных материалов и предоставление аналитических данных, использованных в исследовании.

Список литературы

1. Зырянова, И. С. Самостоятельный туризм: определение понятия и синонимов / И. С. Зырянова. – Географический вестник. – 2021. – № 1 (56).

2. Зырянов, А. И. Технология планирования самостоятельного путешествия / А. И. Зырянов, И. С. Зырянова. – Географический вестник. – 2018. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-planirovaniya-samostoyatelnogo-puteshestviya% (дата обращения: 30.08.2026).

3. ВЦИОМ. Туризм-2025: как россияне бронируют отдых. 05.08.2025. – URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/turizm-2025-kak-rossijane-bronirujut-otdykh.

4. Ассоциация туроператоров России. Туристы этим летом стали экономить: итоги сезона у туроператоров и турагрегаторов. 10.09.2025. – URL: https://www.atorus.ru/article/turisty-etim-letom-stali-ekonomit-itogi-sezona-u-turoperatorov-i-turagregatorov-64041.

5. СберАналитика. В 2025 году россияне совершили 164 млн поездок по России, потратив в них 1,83 трлн рублей. 17.12.2025. – URL: https://sberanalytics.ru/researches/travel-expenses.

6. Государственный комитет Республики Татарстан по туризму. Итоги развития туристской сферы Республики Татарстан в 2025 году. – URL: https://tourism.tatarstan.ru/index.htm/news/2486397.htm

7. Государственный комитет Республики Татарстан по туризму. Татарстан подводит итоги 2025 года в сфере туризма. – URL: https://tourism.tatarstan.ru/index.htm/news/2483290.htm

8. HexTravel Team. Unit Economics and Market Potential of Regional Travel Ecosystems: Tatarstan Case. Kazan: IT Park Publishing. – URL: https://pt.2035.university/project/hextravel

9. Gretzel U., Scarpino-Johnson M. Smart tourism destinations and offline-first architectures. Journal of Smart Tourism. – 2023. – Vol. 3, № 2. – P. 15-28. DOI: 10.1234/jst.2023.02.02.

10. Wang Y., Zhang H. API integration in travel tech ecosystems // Information Technology & Tourism. – 2023. – Vol. 25, № 3. – P. 301-318. DOI: 10.3727/152599523X1678901234567.

УДК 332.1, 338.24.01, 338.23

ЦИФРОВОЙ СЛЕД: ОТ ДАННЫХ К СТИМУЛАМ

Гарипов А.Ш., к.э.н., заместитель директора ГБУ «Центр экономических и социальных исследований Республики Татарстан при Кабинете Министров Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-6629-3612;
E-mail: Albert.Garipov@tatar.ru

DIGITAL FOOTPRINT: FROM DATA TO INCENTIVES

Garipov A.Sh., Cand. Sci. (Economics), Deputy Director, State Budgetary Institution «Center for Economic and Social Research of the Republic of Tatarstan under the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan», Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-6629-3612;
E-mail: Albert.Garipov@tatar.ru

Аннотация

Цифровая трансформация государственного управления открывает возможность для создания институтов нового типа, в которых поведение экономических агентов и приоритеты региональной политики связываются в единый контур на основе данных. Одним из таких институтов является цифровая социальная индексация (ЦСИ) – развивающий координирующий институт, формирующий среду, в которой общественно полезное поведение бизнеса становится экономически рациональным. В статье, носящей концептуальный характер, обоснована цифровая природа ЦСИ, показана ее принципиальная новизна по сравнению с традиционными рейтинговыми и скоринговыми механизмами, раскрыта роль бизнеса как центрального носителя цифрового следа. Предложена логика перехода от данных о поведении к адресным стимулам, ориентированным на различные мотивационные профили компаний. Обозначены прикладные возможности подхода для регионального управления.

Ключевые слова: цифровая социальная индексация, цифровой институт, институциональный инжиниринг, региональная политика, стимулирование, цифровой след, координация, доказательное управление

Abstract

Digital transformation in public administration creates opportunities for new institutional arrangements, in which the behaviour of economic agents and the priorities of regional policy are linked through data. Digital social indexing (DSI) is one such arrangement: a developmental coordinating institution that shapes an environment in which socially responsible business behaviour becomes economically rational. This conceptual paper argues that DSI is fundamentally digital in nature and differs in important ways from conventional rating and scoring mechanisms. It also shows that business occupies a central position in this ecosystem because it produces the most extensive and informative digital footprint. The paper outlines a logic for moving from behavioural data to targeted incentives that reflect the different motivational profiles of firms. It further discusses how this approach can be applied in regional governance and how it can be connected to existing digital platforms. The proposed framework offers a basis for shifting regional policy from uniform administrative measures towards more differentiated, data-driven support for business.

Keywords: digital social indexing, digital institution, institutional engineering, regional policy, incentives, digital footprint, coordination, evidence-based management

Введение

Цифровые технологии все чаще определяют характер взаимодействия государства и бизнеса. Налоговая отчетность, платежные операции, участие в госзакупках формируют цифровой след, который до недавнего времени рассматривался как побочный продукт. Однако именно в нем заложен потенциал для создания институтов, способных перевести региональную политику из режима разовых административных воздействий в режим непрерывной координации.

Цифровая социальная индексация представляет собой попытку реализовать этот потенциал. Она не является ни рейтингом, ни системой контроля, ни платформой для сбора отчетов. Это институт, который превращает наблюдаемое поведение бизнеса в основание для предоставления преференций, создавая среду, в которой ответственное поведение становится экономически выгодным.

Принципиально важно отличать ЦСИ от распространенных сегодня систем социального рейтинга. В отличие от них, ЦСИ не строит иерархию «хороших» и «плохих» агентов и не вводит санкционные механизмы. Она лишь перестраивает систему поощрений таким образом, чтобы ответственное поведение давало ощутимые преимущества. Это смещает акцент с наказания на создание возможностей.

Такой подход особенно важен для бизнеса. Для предпринимателей значимы не только финансовые стимулы, но и репутационные сигналы. В цифровой среде такие сигналы становятся прозрачными и предсказуемыми. Поэтому ЦСИ уместно рассматривать не как еще один инструмент надзора, а как институт развития: он позволяет компаниям превращать доверие в конкретные выгоды.

Цель статьи – задать концептуальные основания ЦСИ и показать, почему ее проектирование должно опираться на объективные данные, а не на субъективные экспертные оценки. В центре внимания – логика перехода от данных к стимулам, которая составляет ядро новой цифровой институциональности.

Обзор литературы

Для регулирования отношений между государством и бизнесом обычно используются либо административные меры, основанные на предписаниях и санкциях; либо рейтинги, где главную роль играют сравнение и репутация. В последние двадцать лет к ним прибавился цифровой скоринг – системы, анализирующие поведение и оценивающие риски [1; 2].

Однако большинство этих инструментов работает в логике контроля: они фиксируют отклонения или оценивают прошлое поведение, но не создают условий, в которых желательное поведение становится более выгодным, чем оппортунистическое. Доказательная государственная политика предлагает иной путь – опираться на данные при проектировании стимулов [3; 4; 5].

Мировой опыт подтверждает продуктивность этого сдвига. Эстония, Сингапур и другие страны с развитой цифровой инфраструктурой создают сервисы, которые не только облегчают взаимодействие бизнеса с государством, но и формируют основу для персонализации поддержки. Такие платформы сокращают административные издержки, повышают прозрачность и создают условия для адресной работы с разными группами предпринимателей [3; 5].

Цифровой след в этом контексте приобретает особое значение. Он возникает автоматически, в ходе обычной хозяйственной деятельности, и не требует дополнительной отчетности. Это создает предпосылки для институтов, которые реагируют на поведение агентов настройкой стимулов [6; 7].

Цифровая социальная индексация находится именно в этой нише. Она наследует идею доказательного управления, но переводит ее из плоскости аналитических рекомендаций в плоскость постоянно действующей цифровой среды. В отличие от классических рейтингов, ЦСИ не ранжирует бизнес ради оценки, а использует данные для координации [8; 9].

Методика

В статье на концептуальном уровне рассматривается цифровой след бизнеса как ресурс, который трансформируется в стимулы. Подход опирается на четыре взаимодополняющие рамки.

Новая институциональная экономика рассматривает институты как правила игры, которые формируют стимулы и снижают неопределенность [6]. В этой логике ЦСИ предстает не как технологический сервис, а как институциональная конструкция, меняющая условия выбора для бизнеса.

Теория человеческого капитала объясняет почему агенты вкладываются в образование, здоровье и квалификацию [7]. Для бизнеса это означает, что решения о легальной занятости, уровне оплаты труда и инвестициях в человеческий капитал имеют долгосрочную отдачу. Цифровой след делает эту отдачу видимой, а ЦСИ – конвертируемой в конкретные преимущества.

Теория общественного выбора рассматривает государственные органы не как абстрактных исполнителей, а как рациональных агентов, ориентированных на KPI, бюджетные трансферты и рейтинги [10]. Это позволяет учесть поведение не только бизнеса, но и тех, кто проектирует и администрирует стимулы.

Доказательный подход в государственном управлении требует при выработке политики опоры на объективные данные [3; 4; 5] и смещает внимание с экспертных суждений на наблюдаемое поведение, что делает его наиболее подходящим для цифровой среды.

Сочетание этих четырех рамок формирует общий принцип: цифровая среда обеспечивает непрерывное наблюдение, автоматическую фиксацию и возможность адресной настройки стимулов. Традиционные институты вынуждены опираться либо на отчетность, либо на отдельные проверки. ЦСИ работает с данными, возникающими в ходе естественной деятельности, поэтому координация обходится дешевле и быстрее реагирует на сдвиги в поведении.

Основная часть

В основе ЦСИ – цифровой след, который бизнес оставляет в повседневной работе: налоговые платежи и задолженности, сведения о легальности занятости, уровень оплаты труда, участие в государственных закупках, экологическая отчетность, судебные и административные разбирательства, цифровая активность в отраслевых системах. Эти данные не требуют дополнительной отчетности и не зависят от экспертных оценок; они возникают как естественный результат взаимодействия компании с налоговыми сервисами, банками и платформами государственных закупок.

Такой след не просто фиксирует поведение – он делает его измеримым. Стимулы в такой системе не привязаны к формальной лояльности или к оценкам со стороны. Они следуют из наблюдаемых паттернов: кто регулярно платит налоги, легально оформляет занятость, вкладывается в развитие – тот получает преференции. Это снижает субъективность и дает более гибкий инструмент, чем привычные KPI.

Цифровой след бизнеса не расходуется, а накапливается. Каждая легальная выплата, каждое вложение в человеческий капитал увеличивают его плотность. На этой основе складывается деловая репутация – актив, который открывает доступ к финансированию, снижает административные издержки и укрепляет доверие. Чем полнее и прозрачнее след, тем выше цифровая зрелость бизнеса. Компании с разреженным следом воспринимаются как менее предсказуемые; предприятия с плотным и чистым следом – как надежные партнеры. ЦСИ превращает эту зрелость в основание для преференций, убирая из процесса субъективные решения.

Такой институт не расширяет надзор и не вводит запретов. Он перестраивает преференции так, чтобы ответственное поведение было рациональнее оппортунистического. Выбор остается за агентом, но последствия выбора становятся все более явными. Вместе с тем сохраняется вопрос: как убедиться, что институт действительно координирует поведение, а не просто фиксирует его? Ответ на него лежит уже в другой плоскости – в оценке, которая встроена в работу самой ЦСИ.

Среди всех агентов бизнес обладает наиболее плотным цифровым следом. Его решения о занятости, зарплатах, инвестициях фиксируются множеством систем. Поэтому бизнес одновременно и главный объект стимулирования, и главный источник данных. Однако мотивация бизнеса неоднородна, и единый набор преференций вряд ли окажется одинаково полезным для всех.

Малый бизнес работает в условиях ограниченных ресурсов; для него решающей оказывается скорость. Чем проще и быстрее компания получает поддержку, тем охотнее откликается. Здесь уместны упрощенные субсидии, пониженные ставки региональных налогов, компенсация затрат на подключение к инфраструктуре.

Средний бизнес уже способен планировать на среднесрочную перспективу, но административные барьеры для него остаются ощутимыми. Ему нужны предсказуемость проверок, доступ к государственному заказу и возможность расширения. Соответствующие преференции – упрощенное участие в закупках, налоговые инвестиционные вычеты, субсидирование процентных ставок.

Крупный бизнес ориентируется на долгосрочные проекты и устойчивые правила. Разовые льготы для него менее значимы, чем прозрачность регулирования и гарантии неизменности условий по уже начатым проектам. На первый план выходят механизмы государственно-частного партнерства и предсказуемая институциональная среда.

ЦСИ, учитывающая эти различия, не применяет единый шаблон. Она настраивает набор преференций под каждый мотивационный профиль, что делает поддержку адресной и справедливой.

Репутационный капитал не статичен. Он может накапливаться и расходоваться. Уклонение от налогов, задержки зарплаты, невыполнение обязательств перед партнерами оставляют след и снижают накопленное доверие. Таким образом, ЦСИ не только поощряет ответственное поведение, но и делает нежелательное более затратным, не прибегая к прямым запретам.

ЦСИ не требует строить новую инфраструктуру с нуля. В регионах уже действуют инвестиционные порталы, платформы государственной поддержки, межведомственные сервисы. ЦСИ может быть встроена в них как дополнительный слой, отвечающий за логику стимулирования. Тогда внедрение не создает дополнительной нагрузки, а заставляет уже накопленные данные работать на настройку преференций.

Цифровой след позволяет видеть структурные различия между регионами. В бизнес-доминантных территориях задача состоит в удержании и масштабировании ответственного поведения; контур стимулирования там можно настраивать тонко. В регионах с высокой долей бюджетного сектора важнее создавать первичные стимулы для расширения следа: без этого даже хорошо продуманные стимулы не достигнут адресата. Отсюда следует, что федеральные и региональные меры поддержки не должны быть унифицированными. ЦСИ открывает путь к территориально дифференцированной политике, где набор стимулов определяется поведенческим профилем бизнеса и состоянием среды.

Традиционная политика в отношении бизнеса в основном реактивна. Цифровой след меняет временную логику управления: он подает ранние сигналы о сдвигах в поведении еще до того, как те перерастут в кризис. ЦСИ дает возможность действовать на опережение, корректируя преференции по мере поступления данных. Такой переход особенно важен в условиях высокой неопределенности, когда ожидание итоговых отчетов равносильно запаздыванию. Цифровой контур сокращает разрыв между сигналом и реакцией.

Ограничения и перспективы

Предложенный подход носит концептуальный характер. Открытыми остаются вопросы о количественных критериях отбора стимулов, способах сопоставления данных из разных источников, проверке устойчивости результатов, а также о юридических аспектах обработки цифрового следа и защите персональных данных. Эти темы требуют отдельного исследования.

Выводы

Цифровая социальная индексация – не технологическое дополнение к существующей политике, а иная институциональная логика. Ее суть – переход от унифицированных административных воздействий к дифференцированным сигналам, настроенным на разные типы бизнеса.

Бизнес занимает здесь центральное место: он одновременно и источник экономической активности, и поставщик цифрового следа. Предложенная рамка открывает путь к региональным системам, где стратегические приоритеты, экономическая структура и бюджетные потоки соединены в единый контур.

Список литературы

1. OECD. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. – Paris: OECD, 2008. – 158 p. DOI: 10.1787/9789264043466-en

2. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process. – New York: McGraw-Hill, 1980. – 287 p.

3. Head, B. W. Three Lenses of Evidence-Based Policy // Australian Journal of Public Administration. – 2008. – Vol. 67. – № 1. – P. 1–11. https://doi.org/10.1111/j.1467-8500.2007.00564.x

4. Nutley, S. M., Walter, I., Davies, H. T. O. Using Evidence: How Research Can Inform Public Services. – Bristol: Policy Press, 2007. – 363 p.

5. Cairney, P. The Politics of Evidence-Based Policy Making. – London: Palgrave Macmillan, 2016. – 137 p. DOI: 10.1057/978-1-137-51781-4

6. North, D. Institutions, Institutional Change and Economic Performance. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 152 p.

7. Becker, G. S. Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis. – New York: NBER, 1964. – 187 p.

8. Putnam, R. D. Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy. – Princeton: Princeton University Press, 1993. – 280 p.

9. Garipov, A. Sh., Garipova, E. N. Digital Social Indexing as a Mechanism for Transforming Social Activity into an Economic Resource for Regional Development // Management Sciences. – 2026. – № 4. – (In press).

10. Buchanan, J. M., Tullock, G. The Calculus of Consent: Logical Foundations of Constitutional Democracy. – Ann Arbor: University of Michigan Press, 1962. – 361 p.

УДК 332.1, 338.24.01, 338.23

ЦИФРОВАЯ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ПЕТЛЯ

Гарипова Е.Н., к.э.н., доцент Института управления, экономики и финансов, кафедра общего менеджмента ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0000-0001-9375-4634;
E-mail: Garipova_E_N@list.ru;
Гарипов А.Ш., к.э.н., заместитель директора ГБУ «Центр экономических и социальных исследований Республики Татарстан при Кабинете Министров Республики Татарстан», г. Казань, Россия,
ORCID: 0009-0009-6629-3612;
E-mail: Albert.Garipov@tatar.ru

THE DIGITAL INSTITUTIONAL LOOP

Garipova E.N., Cand. Sci. (Economics), Associate Professor, Institute of Management, Economics, and Finance, Department of General Management, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Kazan (Volga Region) Federal University»;

ORCID: 0000-0001-9375-4634;
E-mail: Garipova_E_N@list.ru;
Garipov A.Sh., Cand. Sci. (Economics), Deputy Director, State Budgetary Institution «Center for Economic and Social Research of the Republic of Tatarstan under the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan», Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-6629-3612;
E-mail: Albert.Garipov@tatar.ru

Аннотация

Цифровая среда меняет не только инструменты регионального управления, но и саму связь между проектированием институтов и оценкой их результативности. Классическая модель, в которой сначала создаются правила, а затем проверяется их действие, утрачивает обязательность. В статье обосновывается понятие цифровой институциональной петли – замкнутого контура, внутри которого цифровой след бизнеса одновременно служит материалом для настройки стимулов и свидетельством их действенности. Показано, что бизнес в этом контуре занимает не подчиненную, а связующую позицию: его поведение является одновременно реакцией на стимул и источником следующего стимула. Вводится принцип рекурсивного институционального дизайна, при котором институт пересматривает собственные параметры на основе данных о собственном действии. Отдельно рассматриваются условия возникновения петли, ее ограничения и риски. Для нейтрализации рисков предлагается двойная петля, соединяющая оперативную внутреннюю корректировку и стратегическую внешнюю проверку. Предложенный подход переводит региональную политику из логики разовых проектов в логику сопровождаемых самонастраивающихся систем.

Ключевые слова: цифровой институт, институциональная петля, рекурсивный дизайн, цифровой след, бизнес-медиатор, координация, доказательность, самодиагностика, региональная политика

Abstract

The digital environment changes not only the instruments of regional governance but also the very link between institutional design and effectiveness assessment. The classical model, in which rules are first created and then their operation is verified, is losing its obligatory nature. The article substantiates the concept of a digital institutional loop – a closed circuit in which the digital footprint of business simultaneously serves as material for tuning incentives and as evidence of their effectiveness. It is shown that business in this circuit occupies not a subordinate but a connecting position: its behaviour is simultaneously a reaction to a stimulus and the source of the next stimulus. The principle of recursive institutional design is introduced, according to which an institution revises its own parameters based on data about its own action. The conditions for the emergence of the loop, its limitations and risks are considered separately. To neutralise the risks, a double loop is proposed that combines operational internal adjustment and strategic external verification. The proposed approach shifts regional policy from the logic of one-off projects to the logic of accompanied self-adjusting systems.

Keywords: digital institution, institutional loop, recursive design, digital footprint, business mediator, coordination, evidence, self-diagnosis, regional policy

Введение

Привычная логика управления институтами устроена последовательно. Сначала проектант формулирует правила и стимулы. Затем институт запускается. И только после накопления опыта появляется оценка, которая должна ответить, достигнуты ли цели. Эти три шага кажутся естественными; они воспроизводятся в регламентах, в научных работах, в повседневной практике.

Однако цифровая среда все настойчивее расшатывает эту последовательность. Поведение бизнеса теперь фиксируется автоматически, данные обновляются практически непрерывно, и у проектанта больше нет монополии на «запуск» института, а у оценщика – на его «проверку». Стимул настраивается по уже накопленному следу, а след, возникший после стимула, немедленно становится материалом для следующей настройки. Оценка не завершает процесс, а продолжает его. Проектирование не начинает, а возобновляется. Возникает не линия, а петля.

Этот сдвиг и составляет предмет настоящей статьи. Мы вводим понятие цифровой институциональной петли для того, чтобы показать: в цифровой среде проектирование и оценка перестают быть разными фазами, а цифровой след бизнеса выполняет двойную функцию, которую раньше искусственно разделяли. Один и тот же материал служит и для создания стимулов, и для доказательства их действия. Граница, которую мы привыкли проводить, оказывается не свойством реальности, а следствием устаревшего способа видеть.

Цель статьи – это изменение существующего подхода, при котором проектирование и оценка институтов рассматриваются как раздельные этапы: в цифровой среде они образуют единый процесс.

Обзор литературы

Институциональная экономика рассматривает институты как правила игры, формирующие стимулы и снижающие неопределенность [1]. В этой традиции институт – устойчивая конструкция, которую можно описать и сравнить с другой. Вопрос о том, как институт перестраивается под действием собственных данных, остается на втором плане.

Кибернетика, напротив, изначально строилась вокруг замкнутых контуров, в которых обратная связь обеспечивает устойчивость [2]. Понятия датчика, регулятора и исполнительного механизма дают точный язык для описания самокорректирующихся систем. Однако, в институциональных исследованиях эта рамка долгое время оставалась метафорой.

Доказательная государственная политика сделала шаг к соединению этих линий: она потребовала опираться на наблюдаемое поведение, а не на экспертные суждения [3]. В региональных исследованиях это выразилось в распространении количественных оценок эффектов политики. Но даже здесь оценка, чаще всего, остается внешней: она фиксирует результат, не меняя сам институт.

Пространственный анализ добавил понимание того, что эффекты институтов не замыкаются в административных границах [4]. Композитные индексы позволили агрегировать разнородные данные [5]. Теория человеческого капитала [6] и теория общественного выбора [7] объяснили мотивацию агентов. Концепция социального капитала [8] подчеркнула роль доверия и сетей в координации. Исследования цифровой трансформации государственного управления показали, что данные, возникающие автоматически, меняют условия принятия решений [9]. Наконец, в работах по институциональной динамике все чаще обсуждается рекурсивность – свойство системы, при котором результаты ее функционирования становятся входами для следующего цикла [10].

Таким образом, в литературе накоплены необходимые элементы, но нет рамки, которая бы объединила их в единое целое. Настоящая работа заполняет этот пробел.

Методика

Методологической основой исследования является кибернетическая схема замкнутого контура, спроецированная на институциональный дизайн. В качестве управляемой величины рассматривается поведение бизнеса, фиксируемое цифровым следом. Датчиком служат автоматизированные источники данных: налоговые системы, платежные сервисы, платформы закупок. Исполнительным механизмом – настройка стимулов. Правило регулирования задается институциональными параметрами.

Петля начинает работать, когда данные, порожденные действием стимулов, сами возвращаются в контур настройки. Для этого должны одновременно выполняться три условия.

Первое – след не должен требовать дополнительной отчетности. Если бизнес вынужден сдавать отдельные формы, поток прерывается, и петля теряет смысл. Проверить выполнение этого условия можно по доле данных, поступающих автоматически из государственных информационных систем, а не через ручные отчеты.

Второе – задержка между появлением данных и их использованием для настройки не должна превышать цикл управленческого решения. Индикатор здесь простой: как часто обновляются налоговые, платежные и закупочные данные по сравнению с периодичностью корректировки стимулов. Если обновление происходит быстрее, чем принимаются решения, петля жизнеспособна.

Третье – параметры института должны допускать пересмотр без разрыва правовой оболочки. Другими словами, изменения не должны требовать полного переутверждения института. Наличие нормативного механизма, позволяющего корректировать стимулы в рабочем режиме, и есть критерий выполнения этого условия.

Все три условия проверяемы на уровне конкретного региона или института. Достаточно проанализировать источники данных и правовые процедуры. Если хотя бы одно из условий не выполняется, петля не замыкается, и проектирование с оценкой остаются раздельными.

Когда условия выполнены, вступает в силу принцип рекурсивного институционального дизайна: институт должен быть устроен так, чтобы порождаемые им данные автоматически использовались для корректировки его же параметров. Рекурсия в данном случае – это не бесконечный повтор одного и того же, а последовательное уточнение. Каждый следующий проход опирается на более плотный след и потому видит больше предыдущего.

Бизнес в этой конструкции не является объектом воздействия. Он – агент, через которого петля замыкается. Его поведение – это одновременно и реакция на предыдущий стимул, и источник данных для следующего.

Основная часть

В традиционной системе оценка и настройка стимулов получают данные из разных источников. Оценка опирается на отчетность, обследования, выборочные проверки; настройка – на экспертные заключения, отдельные аналитические записки, иногда на неформальные сигналы. Цифровая среда снимает этот разрыв. Один и тот же след – налоговая история, платежная дисциплина, участие в закупках, легальная занятость – служит и для назначения преференций, и для проверки того, как эти преференции подействовали.

След бизнеса особенно информативен. В отличие от данных о домохозяйствах, которые часто фрагментарны и защищены режимами конфиденциальности, данные о предприятиях более систематизированы и менее чувствительны с точки зрения персональных сведений. Бизнес ведет учет, взаимодействует с налоговыми органами, участвует в цифровых платформах – все это создает плотный и непрерывный поток данных.

Именно это положение бизнеса внутри следа делает возможным следующий шаг. Стимулы, настроенные по следу, рождают новое поведение, а новое поведение снова фиксируется следом. Так возникает непрерывное движение, в котором проектирование и оценка перестают быть разными событиями.

Стимулы в этом движении выполняют двойную работу. С одной стороны, они формируют поведение агентов – направляют их к действиям, которые признаны общественно полезными. С другой стороны, реакция на стимулы сама по себе является измерительным инструментом: если агенты не реагируют на предложенные преференции, значит, либо стимулы подобраны неверно, либо среда не позволяет их воспринять. Здесь исчезает вопрос, который в иной логике остается без ответа: как отличить координацию от фиксации. Петля отвечает на него не словами, а самим режимом работы. Проектирование стимулов и оценка их действенности сливаются в один процесс. Дизайнер института, корректируя параметры преференций, одновременно получает данные о том, насколько эти параметры адекватны.

Оценка в петле не добавляется к институту, а является его конструктивным элементом. Без нее петля разрывается, и институт возвращается к линейной логике, где проверка всегда запаздывает. Эта встроенность оценки становится особенно заметной, когда мы переходим к рекурсивному дизайну. Он предполагает, что институт содержит внутри себя механизм собственной проверки. Это не просто наличие аналитического блока, который время от времени готовит отчеты. Речь идет о том, что данные, порождаемые в процессе функционирования института, автоматически поступают в контур корректировки его параметров. Такая рекурсивность возможна только в цифровой среде. Аналоговые институты требуют времени на сбор и обработку данных, поэтому обратная связь в них всегда запаздывает. Цифровой институт может сократить этот разрыв до минимума: данные появляются в момент действия, аналитика – в момент накопления, корректировка – до того, как успели закрепиться нежелательные паттерны. В пределе проектирование и оценка совпадают во времени. Так петля становится не внешним добавлением, а способом существования института. Он не «запускается» и не «проверяется», а постоянно находится в движении.

Описанный механизм не существует в абстракции. Он реализуется через конкретного агента – бизнес – и в конкретной среде – региональной экономике. Именно здесь петля приобретает свои очертания.

Особая роль бизнеса объясняется не только плотностью его следа, но и разнообразием мотивационных профилей. Малые предприятия чувствительны к текущим издержкам, крупные – к предсказуемости правил, средние занимают промежуточное положение. Это означает, что петля должна быть способной настраивать стимулы под разные типы агентов, а не применять единый шаблон.

Цифровой след позволяет видеть, какие стимулы срабатывают для каких групп. Если малый бизнес не реагирует на льготы, требующие длительного оформления, а крупный – на краткосрочные преференции, петля получает сигнал о рассогласовании. Корректировка следует за этим сигналом, и цикл повторяется. Бизнес, таким образом, не просто объект стимулирования, а активный участник настройки института.

Региональная среда добавляет еще одно измерение. Цифровая институциональная петля не является однородной по территории. В регионах с высокой плотностью цифрового следа петля работает быстрее и точнее; там, где след разрежен, обратная связь запаздывает или искажается. Это означает, что рекурсивный дизайн должен предусматривать региональную калибровку: один и тот же институт может требовать разных параметров в зависимости от цифровой зрелости территории.

Можно выделить три типа регионов по зрелости цифрового следа. В регионах с плотным следом петля работает в режиме тонкой настройки, где акцент делается на точности сигналов. В регионах с переходным следом петля совмещает расширение охвата с точечной корректировкой. В регионах с разреженным следом петля находится в режиме первичного накопления данных, и главной задачей становится расширение цифрового присутствия бизнеса.

Универсальность петли – в ее логике, а не в одинаковости реализации. Одна логика, разные параметры. Аналогично и во времени: эффекты стимулов могут накапливаться постепенно, и петля должна уметь отличать устойчивый отклик от кратковременного всплеска, вызванного новизной. Рекурсивность предполагает постоянное сравнение, а не разовую проверку.

Чем точнее работает петля, тем отчетливее проявляются ее слабые места. Прежде всего, это зависимость от качества данных. Если цифровой след неполон или искажен, обратная связь начинает давать сбои, и корректировка стимулов идет по ложному основанию. Второй риск – самоисполняющиеся оценки. Настроенный на определенные паттерны институт может продолжать воспроизводить их, даже когда они перестали соответствовать среде: внутренняя логика петли постепенно вытесняет внешний контекст. Наконец, рекурсивность способна порождать избыточную самодостаточность. Внешние сигналы игнорируются, петля перестает размыкаться и рискует выродиться в самоподтверждающуюся систему.

Эти три уязвимости не изолированы друг от друга. Некачественные данные подпитывают самоисполняющиеся оценки, а те, в свою очередь, усиливают замкнутость. Поэтому внутренней петле необходим внешний противовес.

Таким противовесом выступает двойная институциональная петля. Внутренняя отвечает за оперативную корректировку стимулов на основе текущего следа. Внешняя представляет собой стратегическую проверку самих правил игры и критериев оценки, проводимую с более длинным периодом и на других данных.

Внешняя петля не ломает внутреннюю, а очерчивает ее границы. Она не подменяет оперативную корректировку, но проверяет, не отклонились ли сами критерии, по которым работает внутренний контур. Независимая оценка, выполняемая с другой периодичностью и на других данных, способна размыкать внутреннюю петлю в тех точках, где самодиагностика дает сбои.

Таким образом, петля не остается наедине с собой, а внешняя проверка удерживает ее от вырождения.

Выводы

Цифровая институциональная петля – не метафора, а рабочий механизм, в котором проектирование и оценка перестают быть раздельными задачами. След бизнеса одновременно служит и материалом для настройки стимулов, и свидетельством их действия. Именно в этом совмещении рождается новое качество управления.

Бизнес занимает в петле связующее положение. Его поведение замыкает контур, поэтому работа с цифровым следом – не техническая задача, а условие жизнеспособности института. Чем плотнее след, тем точнее работает петля; чем разреженнее след, тем больше риск ее вырождения.

Рекурсивный институциональный дизайн превращает институт из завершенного проекта в продолжающийся процесс. Оценка встраивается в проектирование, проектирование – в оценку, и разрыв между ними исчезает. Это не отменяет внешнего контроля, но меняет его функцию: он становится не единственным источником суждения, а противовесом, удерживающим петлю от замкнутости.

Двойная петля, в которой внутренняя оперативная корректировка дополнена внешней стратегической проверкой, позволяет сохранить рекурсивность, не позволяя ей переродиться в самодостаточную систему. Устойчивость цифрового института достигается не отказом от обратной связи, а правильной организацией этой связи.

Переход от линейной схемы «создание – проверка» к петлевой «настройка – наблюдение – корректировка» – это смена не только инструментов, но и самого подхода к тому, как институты существуют в цифровой среде.

Список литературы

1. North, D. Institutions, Institutional Change and Economic Performance. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 152 p.

2. Beer, S. Brain of the Firm. – London: Allen Lane, 1972. – 320 p.

3. Head, B. W. Three Lenses of Evidence-Based Policy // Australian Journal of Public Administration. – 2008. – Vol. 67. – № 1. – P. 1–11. https://doi.org/10.1111/j.1467-8500.2007.00564.x.

4. De Dominicis, L. Inequality and growth in European regions: Towards a place-based approach // Spatial Economic Analysis. – 2014. – Vol. 9. – № 2. – P. 120–141.

5. Greco, S., Ishizaka, A., Tasiou, M., Torrisi, G. On the methodological framework of composite indices: A review of the issues of weighting, aggregation, and robustness // Social Indicators Research. – 2019. – Vol. 141. – № 1. – P. 61–94. DOI: 10.1007/s11205-017-1832-9.

6. Becker, G. S. Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis. – New York: NBER, 1964. – 187 p.

7. Buchanan, J. M., Tullock, G. The Calculus of Consent: Logical Foundations of Constitutional Democracy. – Ann Arbor: University of Michigan Press, 1962. – 361 p.

8. Putnam, R. D. Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy. – Princeton: Princeton University Press, 1993. – 280 p.

9. Mergel, I., Edelmann, N., Haug, N. Defining digital transformation: Results from expert interviews // Government Information Quarterly. – 2019. – Vol. 36. – № 4. – Article 101385. DOI:10.1016/j.giq.2019.06.002.

10. Pierson, P. Politics in Time: History, Institutions, and Social Analysis. – Princeton: Princeton University Press, 2004. – 208 p.

УДК 339.727

ЦИФРОВАЯ ФИНАНСОВАЯ ОТЧЁТНОСТЬ: МЕЖДУ НОРМАТИВНЫМ ДАВЛЕНИЕМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВОБОДОЙ

Дерзаева Г.Г., к.э.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-2530-2887;
E-mail: guzelchan@mail.ru;
Мадаминов Б., студент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

DIGITAL FINANCIAL REPORTING: BETWEEN REGULATORY PRESSURE AND TECHNOLOGICAL FREEDOM

Derzayeva G.G., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-2530-2887;
E-mail: guzelchan@mail.ru;
Madaminov B., student of Kazan Federal University, Kazan, Russia;

Аннотация

В исследовании рассматривается развитие цифровой финансовой отчетности с точки зрения возникающих противоречий между усилением регуляторного давления и стремлением к технологической свободе. Актуальность темы исследования обосновывается повсеместной цифровизацией учетных процессов, внедрением машиночитаемых форматов отчетности и обострением вопросов их стандартизации при одновременном росте потребности бизнеса в гибкости и автоматизации. Целью исследования является выработка баланса между соблюдением императивных требований регуляторов и реализацией потенциала технологических инноваций в формировании финансовой отчетности. С помощью таких методов, как научный анализ, аналогия и сравнение в исследовании анализируются методологические проблемы совмещения жестких стандартов финансового учета с гибкими цифровыми форматами и сквозной архитектурой учетных данных. В итоге в статье обосновывается компромиссный подход к цифровой трансформации финансовой отчетности, основанный на дифференциации обязательных элементов отчетности и экспериментальных технологических модулей.

Ключевые слова: цифровая финансовая отчетность, нормативное давление, технологическая свобода, регуляторные требования, стандартизация учета, регуляторный компромисс, сквозная архитектура данных

Abstract

This study examines the development of digital financial reporting from the perspective of emerging contradictions between increasing regulatory pressure and the desire for technological freedom. The relevance of this research topic is substantiated by the widespread digitalization of accounting processes, the introduction of machine-readable reporting formats, and the growing need for standardization, coupled with the growing business demand for flexibility and automation. The aim of the study is to strike a balance between compliance with mandatory regulatory requirements and the realization of the potential of technological innovations in financial reporting. Using methods such as scientific analysis, analogy, and comparison, the study analyzes the methodological challenges of combining strict financial accounting standards with flexible digital formats and an end-to-end accounting data architecture. Ultimately, the article substantiates a compromise approach to the digital transformation of financial reporting based on the differentiation of mandatory reporting elements and experimental technological modules.

Keywords: digital financial reporting, regulatory pressure, technological freedom, regulatory requirements, accounting standardization, regulatory compromise, end-to-end data architecture

Введение

Трансформация общества и стремительное развитие технологий на рубеже XX и XXI веков инициировали глубокие изменения во всех сферах жизнедеятельности человека. Одним из наиболее значительных проявлений этого процесса стало проникновение цифровых технологий в сферу финансового учёта и отчётности, где, в условиях растущего запроса на оперативность, прозрачность, и аналитическую ценность данных, сформировались предпосылки для перехода от статичных бумажных форм к динамичной цифровой финансовой отчётности. Это движение породило фундаментальное противоречие: с одной стороны – усиливающееся нормативное давление со стороны регуляторов, требующих унификации, машиночитаемости и жёсткого соблюдения правил, с другой – стремление бизнеса к технологической свободе, гибкости интеграции, использованию открытых API[1] и смарт-контрактов[2] для сквозной обработки данных.

Рост объёмов цифровой отчётности и количества регуляторных требований к её форматам делает этот конфликт всё более острым. В качестве примера приведем внедрение обязательного машиночитаемого формата XBRL[3] в десятках стран, в том числе: США, Великобритания, страны ЕС, Китай, что позволило автоматизировать контроль, но одновременно увеличило нагрузку на компании, особенно малые и средние. На рис. 1 отразим динамику количества нормативных требований к цифровой финансовой отчётности на примере расширения таксономий XBRL.

В Российской Федерации цифровая финансовая отчётность развивается в рамках требований Федеральной налоговой службы через форматы XML[4], а также концепции открытых данных и системы «Электронный бюджет». Прямого запрета на использование гибких цифровых форматов не существует, однако государственные органы обязывают представлять отчётность в строго определённых таксономиях, что создаёт напряжение между нормативным давлением и технологической свободой при выборе инструментов автоматизации.

[1] API (интерфейс программирования приложений) – это набор правил, позволяющий программам взаимодействовать, обмениваясь данными и функциями.

[2] Смарт-контракты – это самоисполняющиеся цифровые программы, работающие в блокчейне и автоматически выполняющие условия сделки без посредников.

[3] XBRL – средство коммуникации и обмена бизнес-информацией между системами. Эти коммуникации основаны на наборах метаданных (данных о данных), которые содержат описание как отдельных показателей отчетности, так и взаимосвязей между ними и прочими семантическими элементами таксономий.

[4] XML (eXtensible Markup Language) – это расширяемый язык разметки, предназначенный для удобного хранения и передачи структурированных данных

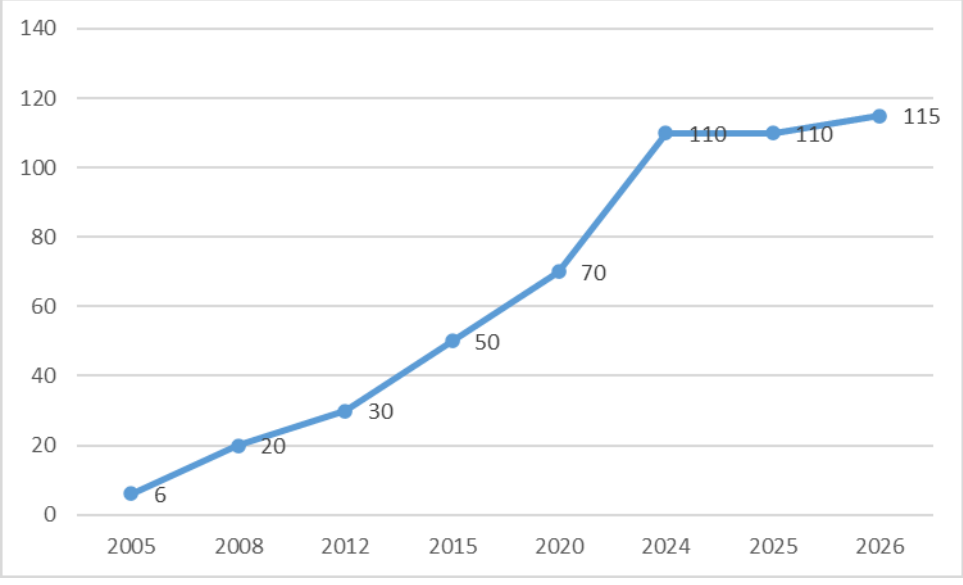


Рис. 1. Динамика количества нормативных требований к цифровой финансовой отчётности (на примере расширения таксономий XBRL), ед.

Источник: составлено авторами по данным XBRL International[1]

Теоретическая база исследования

Истоки формирования концепции цифровой финансовой отчетности в современном её понимании восходят к началу 2010-х гг., когда массовое внедрение информационных технологий в учетные процессы поставило вопрос о пересмотре традиционных форматов представления данных. Одними из первых теоретиков, обосновавших необходимость перехода к машиночитаемой отчетности, стали российские авторы Т.Ю. Дружиловская и Э.С. Дружиловская [1], которые в 2019 г. проанализировали направления модернизации финансовой отчетности в условиях цифровой экономики, выделив ключевые вызовы для учетной практики. Существенное значение в становлении цифровых форматов приобрели разработки Р.П. Булыги и И.В. Сафоновой [2, 3], предложивших системный взгляд на внедрение XBRL как универсального цифрового формата.

Далее данная тематика развивалась в трудах В.В. Башкатова, В.Ю. Брык, А.М. Зеленской [4], которые сосредоточились на особенностях бухгалтерского учета и отчетности именно в условиях цифровой экономики. В этом же направлении обратим внимание и на труды М.В. Максимовой [5], которая в своей статье 2023 г. рассматривает цифровую трансформацию финансовой отчетности как неизбежный этап эволюции учетной системы, вызванный ростом требований к оперативности и аналитичности данных.

Вопросы соответствия цифровой отчетности международным стандартам поднимаются в коллективной работе В.В. Аркаути, Л.В. Касаевой, О.Г. Матвеевой и др. [6], где анализируются преимущества и сложности внедрения цифровых форматов в российской практике с учетом требований МСФО. Особый ракурс добавляет исследование И.О. Игнатовой [7], которое фокусируется на том, как цифровой формат финансовой отчетности способствует повышению её информационной ценности для различных групп пользователей, а именно: регуляторов и инвесторов.

Среди прикладных аспектов выделим работу Е. Киреевой [8], посвященную цифровой трансформации налоговой отчетности, где автором выделяются современные тенденции адаптации фискальных процедур к цифровым форматам таким как XML, автоматизирован-

[1] https://taxonomies.xbrl.org/

ные камеральные проверки. Более узкоспециализированное направление представлено в исследовании Г.Г. Дерзаевой [9], которая рассматривает трансформацию финансовой отчетности при переходе с МСФО на стандарты AAOIFI. Так она демонстрирует, что проблема цифрового формата актуальна не только для традиционных, но и для альтернативных систем учета.

Фундаментальное обобщение накопленного материала предлагает монография под редакцией Н.А. Камордженовой [10], где коллектив авторов в составе следующих ученых: И.Н. Богатая, Г.Г. Дерзаева, И.Н. Дерновская и др. рассматривает актуальные методы формирования, анализа и контроля отчетности системообразующих корпоративных структур в условиях цифровизации. Наконец, выделим еще и работу по концептуальной модели цифровой корпоративной отчетности И.В. Сафоновой [3] 2025 г., которая подводит итог предшествующим исследованиям и предлагает целостную систему, учитывающую как нормативные ограничения, так и технологические возможности.

Методология исследования

Целью исследования является выработка баланса между соблюдением нормативных требований к цифровой финансовой отчетности и реализацией потенциала технологических инноваций, которые обеспечивают гибкость и автоматизацию учетных процессов.

Для достижения данной цели поставим и решим две задачи:

– изучение эволюции и современных форматов цифровой финансовой отчетности в контексте усиления регуляторного давления;

– определение ключевых точек напряжения между нормативными требованиями и технологической свободой.

Для решения данных задач используем следующие методы:

– метод анализа научной литературы для изучения современного состояния научной проблемы исследования;

– методы сравнительного анализа для исследования эволюции и форматов цифровой финансовой отчетности;

– методы сопоставления и логики для определения ключевых точек напряжения между нормативным давлением и технологической свободой.

Результаты исследования

Результаты изучения эволюции и современных форматов цифровой финансовой отчетности в хронологическом порядке в контексте усиления регуляторного давления представим в таблице 1.

Таблица 1

Эволюция форматов цифровой финансовой отчетности

Этап	Формат отчетности	Ключевые характеристики	Контекст регуляторного давления и технологической свободы
1970 – 1990 гг.	Бумажная отчетность	– Документы на бумаге. – Ручное заполнение форм. – Почтовые или курьерские способы сдачи.	Регуляторное давление низкое, формы жесткие, но проверка трудоёмка, технологической свободы практически нет.
1990 – начало 2000 гг.	Электронные документы в форматах DOC, PDF, сканы документов	– Переход от бумаги к файлам. – Отсутствие унифицированных машиночитаемых форматов. – Необходимость дублирования на бумаге.	Появляется технологическая свобода в форме выбора любого редактора и любого формата. Регуляторы начинают требовать электронного вида, но без строгой стандартизации.

Окончание табл. 1

Этап	Формат отчетности	Ключевые характеристики	Контекст регуляторного давления и технологической свободы
2005–2010 гг.	XML – eXtensible Markup Language	– Структурированные данные с тегами. – Возможность валидации по XSD-схемам[1]. – Внедрение в налоговых службах.	Повышение нормативного давления в виде обязательных форматов обмена. Технологическая свобода ограничивается схемами, но бизнес может адаптировать программное обеспечение.
2010 гг. и по настоящее время	XBRL – eXtensible Business Reporting Language	– Расширение XML для бизнес-отчетности. – Таксономии (словари показателей). – Машиночитаемость, автоматический анализ. – Обязателен в США, ЕС, Китае, Индии	Очень высокое регуляторное давление: строгие таксономии, частая смена версий. Технологическая свобода снижается, поскольку становятся нужны специализированные конвертеры.
2015 г. и по настоящее время	iXBRL – Inline XBRL	– Объединение человекочитаемого HTML и машиночитаемого XBRL. – Отображение в браузере без потери данных. – Принят в Великобритании.	Компромисс: регуляторы получают стандартизацию, а компании – визуальный контроль. Технологическая свобода частично возвращается, поскольку можно использовать обычные офисные программы с плагинами.
2020 г. и по настоящее время	API-ориентированные форматы (JSON, REST-API, GraphQL[2])	– Прямой обмен данными между ERP[3] и системами регуляторов. – Отказ от пакетной загрузки файлов. – Примеры – платформа «Электронный бюджет»	Давление сохраняется, поскольку есть требования к структуре и безопасности запросов. Технологическая свобода высока: компании интегрируют учётные системы в реальном времени.
Перспектива на 2026–2030 гг.	Смарт-контракты, блокчейн-нотаризация, AI-отчетность	– Автоматическое формирование записей по событиям. – Неизменяемый аудит через DLT[4]. – Генерация пояснений с помощью искусственного интеллекта. – Проекты: автоматические таксономии, самоисполняемая отчетность.	Обострение противоречия: регуляторы хотят контролировать алгоритмы, бизнес – сохранить гибкость. Возможен тренд на «регуляторные песочницы».

Источник: составлено авторами.

[1] XSD (XML Schema Definition) – это язык описания структуры XML-документа, созданный для проверки правильности данных

[2] JSON, REST API и GraphQL – это базовые технологии и концепции, которые используются для создания и взаимодействия веб-приложений. Они позволяют разным программам (сайтам, мобильным приложениям, серверам) общаться друг с другом, обмениваясь данными.

[3] Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия – это комплексная программа или цифровая платформа для автоматизации и управления всеми бизнес-процессами компании в едином пространстве

[4] Distributed Ledger Technology – технология распределенного реестра

На основе представленной эволюционной динамики можно заключить, что развитие цифровой финансовой отчетности характеризуется циклическим противоречием: ужесточение нормативного давления на каждом этапе, начиная от бумажных форм до XML и XBRL, неизбежно вызывает ответный импульс технологической свободы, который реализуется в форматах-компромиссах, таких как iXBRL, или в децентрализованных решениях, например, смарт-контракты. При этом, если переход от XML к XBRL резко повысил контролепригодность за счёт унификации таксономий, то современный этап API-ориентированного обмена и блокчейн-нотариации демонстрирует попытку регуляторов сохранить надзорные функции, не блокируя сквозную автоматизацию и гибкость учётных систем бизнеса. Следовательно, дальнейшая гармонизация возможна лишь при внедрении адаптивных таксономий и открытых стандартов обмена, что подтверждает ключевую гипотезу исследования о необходимости баланса между нормативным давлением и технологической свободой.

Ключевые точки напряжения между нормативным давлением и технологической свободой отобразим в таблице 2.

Таблица 2

Ключевые точки напряжения между нормативным давлением и технологической свободой

№	Область напряжения	Нормативное давление (требования регуляторов)	Технологическая свобода (потребности бизнеса и разработчиков)	Последствия напряжения
1	Формат представления отчетности	Обязательное использование жестких таксономий, таких как XBRL, XML с утвержденными XSD-схемами. Необходимость точного соответствия версиям формата.	Возможность выгрузки данных в любом машиночитаемом формате без привязки к устаревшим схемам.	Рост затрат на разработку и поддержку конвертеров; ошибки при трансформации; а также могут быть задержки в предоставлении отчетности.
2	Частота и сроки обновления форматов	Ежегодное или полугодовое изменение таксономий, например, появление новых кодов, показателей, правил валидации.	Стабильность API и форматов для долгосрочного планирования ИТ-систем; минимизация доработок.	Постоянные «авральные» доработки учетных систем; риск использования устаревших версий; штрафы.
3	Уровень детализации	Требование максимальной детализации.	Агрегирование данных для управленческих целей; нежелание раскрывать избыточную коммерчески чувствительную информацию.	Увеличение трудозатрат на идентификацию и разметку; снижение гибкости внутреннего учета.
4	Интеграция с внутренними ERP-системами	Принудительное использование «толстых» клиентов или шлюзов регулятора для загрузки файлов.	Сквозная автоматизация; встроенные возможности в ERP без промежуточных конвертеров.	Дублирование ввода данных; разрыв между управленческим и регламентированным учетом.

Окончание табл. 2

№	Область напряжения	Нормативное давление (требования регуляторов)	Технологическая свобода (потребности бизнеса и разработчиков)	Последствия напряжения
5	Использование новых технологий	Отсутствие или неопределенность нормативной базы для блокчейн-отчетности; требование централизованной подписи.	Применение неизменяемых регистров, автоматическое формирование записей по событиям смарт-контракта.	Правовой вакуум: эксперименты в «песочницах» не переходят в промышленную эксплуатацию.
6	Аутентичность и подпись отчетности	Обязательная усиленная квалифицированная электронная подпись для каждого экземпляра.	Альтернативные методы аутентификации, такие как аппаратные ключи, биометрия, мультифакторная авторизация через API.	Организационные сложности при массовом формировании отчетности; «бутылочное горлышко» в процессах подписания.
7	Сроки предоставления	Постепенный переход к онлайн-контролю.	Пакетная выгрузка, планирование закрытия периода, внутренние регламенты проверки данных.	Конфликт темпов: бизнес не готов к 24/7 режиму отчетности перед регулятором.

Источник: составлено авторами.

На основе систематизации ключевых точек напряжения в таблице 2 сделаем вывод, что противоречие между нормативным давлением и технологической свободой в сфере цифровой финансовой отчетности носит комплексный, многоаспектный характер. Оно проявляется во всех звеньях отчетного процесса: от выбора формата данных до способов аутентификации и временного режима предоставления. Наиболее острыми точками являются ежегодное обновление таксономий, приводящее к авральным доработкам учетных систем, а также отсутствие нормативной определенности в отношении использования распределенных реестров и смарт-контрактов, что консервирует технологическую отсталость. Следовательно, снятие или смягчение перечисленных напряжений требует не просто технической доработки форматов, а пересмотра самой философии регулирования в сторону адаптивных таксономий и открытых стандартов обмена, которые все-таки допускают вариативность технологических решений при сохранении контролируемости данных.

Вывод

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать ряд выводов.

1. Наиболее дискуссионной остается проблема совмещения жестких требований регуляторов к унифицированным таксономиям с потребностью бизнеса в технологической гибкости и автоматизации. Согласно позиции, изложенной в работах Булыги Р.П. и Сафоновой И.В., машиночитаемые форматы отчетности, безусловно, повышают прозрачность и контролепригодность данных, однако их чрезмерная детализация и частота обновлений создают дополнительную нагрузку на корпоративные учетные системы, особенно в условиях ограниченных ИТ-ресурсов малого и среднего бизнеса.

2. В аспекте нормативного регулирования цифровой финансовой отчетности в Российской Федерации сохраняется множество нерешённых вопросов. Отсутствие единой концептуальной модели, интегрирующей требования ФНС, Банка России и перспективные технологические решения, вынуждает компании выстраивать громоздкие конвертеры между внутренними ERP-системами и внешними надзорными форматами, что снижает экономическую эффективность цифровой трансформации.

3. На сегодняшний день оптимальной стратегией развития цифровой финансовой отчетности признаётся дифференцированный подход: для обязательной публичной отчетности – строго регламентированные машиночитаемые форматы, для внутреннего управленческого учета и экспериментальных сегментов – технологически свободные решения. Хотя на территории Российской Федерации полный переход на цифровую отчетность с элементами искусственного интеллекта пока не реализован, возможности постепенной гармонизации нормативных требований и технологических инноваций сохраняются при условии создания регуляторных «песочниц» и открытых стандартов обмена данными.

Список литературы

1. Дружиловская, Т. Ю. Модернизация финансовой отчетности организаций в условиях цифровой экономики / Т. Ю. Дружиловская, Э. С. Дружиловская // Учет. Анализ. Аудит. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 50-61. – DOI 10.26794/2408-9303-2019-6-1-50-61. – EDN YXTDSX.

2. Булыга, Р. П. XBRL как цифровой формат отчетности экономических субъектов: международный опыт и российская практика / Р. П. Булыга, И. В. Сафонова // Учет. Анализ. Аудит. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 6-17. – DOI 10.26794/2408-9303-2020-7-3-6-17. – EDN ZRDSOO.

3. Сафонова И. В. Концептуальная модель цифровой корпоративной отчетности // Учет. Анализ. Аудит. – 2025. – Т. 12. – №. 1. – С. 27-45. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80548256

4. Башкатов, В. В. Особенности бухгалтерского учета и отчетности в условиях цифровой экономики / В. В. Башкатов, В. Ю. Брык, А. М. Зеленская // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 5-1. – С. 5-10. – DOI 10.17513/vaael.2167. – EDN RRDIYY.

5. Максимова, М. В. Цифровая трансформация финансовой отчетности / М. В. Максимова // Молодой ученый. – 2023. – № 49 (496). – С. 564-566. – EDN AMQMEK.

6. Международные стандарты финансовой отчетности (МСФО) в Российской практике: преимущества и сложности цифровой отчетности / В. В. Аркаути, Л. В. Касаева, О. Г. Матвеева [и др.] // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2021. – Т. 4, № 10 (118). – С. 141-146. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2021.10.04.019. – EDN PCHPBU.

7. Игнатова, И. О. Цифровой формат финансовой отчетности как способ повышения ее информационной ценности / И. О. Игнатова // Экономический анализ: теория и практика. – 2024. – Т. 23, № 12(555). – С. 2421-2427. – DOI 10.24891/ea.23.12.2421. – EDN KZPFXU.

8. Киреева, Е. Цифровая трансформация налоговой отчетности: современные тенденции / Е. Киреева // Финансы, учет, аудит. – 2019. – № 1. – С. 33-34. – EDN GNMOSV.

9. Дерзаева, Г. Г. Трансформация финансовой отчетности с МСФО на стандарты AAOIFI (на примере операций с сукук) / Г. Г. Дерзаева // Финансы и кредит. – 2025. – Т. 31, № 6. – С. 191-207. – DOI 10.24891/nkolzk. – EDN NKOLZK.

10. Актуальные методы формирования, анализа и контроля отчетности системообразующих корпоративных структур : монография / И. Н. Богатая, Г. Г. Дерзаева, И. Н. Дерновская [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Каморджановой. – Москва : Русайнс, 2022. – 279 с. https://book.ru/book/947656.

УДК 004.89

INTELLIGENT CASCADING SYSTEM FOR THE CLASSIFICATION AND ORGANIZATION OF EDUCATIONAL DOCUMENTS

Dyudin G.A., Master's student;
ORCID: 0009-0004-8936-2581;
Arabov M.K., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-2525-1183;
Khaybullina S.S., Master's student, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-8818-2370

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КАСКАДНАЯ СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ И ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Дюдин Г.А., магистрант;
ORCID: 0009-0004-8936-2581;
Арабов М.К., к.ф.-м.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-2525-1183;
Хайбуллина С.С., магистрант Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-8818-2370

Abstract

The paper presents IntelliDocOrganizer, an intelligent cascade system for automatic classification, thematic organization, and structural arrangement of collections of unstructured educational documents. The relevance of the study is associated with the rapid growth of digital educational content, including assignments, course projects, internship reports, research papers, methodological materials, and other heterogeneous documents whose manual processing requires substantial time and human effort. The proposed approach combines an interpretable rule-based classifier with adaptive clustering and applies computationally more expensive machine-learning procedures only to documents that cannot be reliably assigned to a category using explicit formal features. The rule-based module contains 60 active rules, uses a confidence accumulation mechanism, and extracts document creation years hierarchically from document content, file names, and file-system metadata. For the uncertain part of the collection, texts are represented using TF-IDF features with Russian stop words, stemming, and unigrams and bigrams. A dynamic algorithm registry then evaluates nine clustering methods. An additive composite quality metric is introduced to automate method selection by jointly considering the silhouette coefficient, the proportion of classified objects, execution time, and a penalty for excessive cluster fragmentation. Experiments on a corpus of 319 documents showed that the rule-based stage classified 271 documents, achieving 84.95% coverage, 0.91 precision, and 0.84 recall. For the remaining documents, the proposed selection procedure automatically chose K-Means with ten clusters. The resulting clusters achieved an expert interpretability score of 0.89. The average end-to-end processing time remained below one second per document, while the complete collection received a consistent structural organization. The obtained results demonstrate that the cascade architecture can combine the transparency of rule-based decisions with the adaptability of machine-learning methods, while limiting the use of computationally expensive procedures to the most ambiguous part of the document collection.

Keywords: hybrid document processing, rule-based classification, adaptive clustering, educational digital technologies, automatic algorithm selection, composite quality metric, educational documents

Аннотация

В статье представлена интеллектуальная каскадная система IntelliDocOrganizer, предназначенная для автоматической классификации, тематической организации и структурирования коллекций неструктурированных учебных документов. Актуальность разработки определяется быстрым ростом цифрового образовательного контента, включающего контрольные работы, курсовые проекты, отчёты, научные публикации, методические материалы и другие документы, обработка которых вручную требует значительных временных и трудовых ресурсов. Предлагаемый подход объединяет интерпретируемую правиловую классификацию с адаптивной кластеризацией и применяет машинное обучение только к документам, для которых невозможно получить надёжную категорию на основе формальных признаков. Правиловой модуль использует 60 активных правил, механизм накопления уверенности и иерархическое извлечение года создания документа из содержимого, имени файла и метаданных файловой системы. Для неопределённой части коллекции выполняется TF-IDF-векторизация с русскими стоп-словами, стеммингом и биграммами, после чего динамический реестр сравнивает девять алгоритмов кластеризации. Для автоматического выбора метода предложена композитная метрика, учитывающая силуэтный коэффициент, долю классифицированных объектов, вычислительное время и штраф за чрезмерную фрагментацию кластеров. На корпусе из 319 документов правиловой этап классифицировал 271 документ, обеспечив покрытие 84,95% при точности 0,91 и полноте 0,84. Для оставшейся части автоматический выбор по метрике качества определил K-Means с десятью кластерами; итоговая экспертная интерпретируемость кластеров составила 0,89. Среднее время сквозной обработки одного документа не превысило одной секунды, а вся коллекция получила структурную организацию. Полученные результаты показывают, что каскадная архитектура позволяет совместить прозрачность правиловых решений с гибкостью методов машинного обучения и сократить объём вычислительно более затратной обработки. Практическая ценность системы заключается в возможности её применения в цифровых образовательных средах, где состав документов регулярно изменяется, а требования к структуре хранения и поиску информации могут отличаться для разных подразделений. Использование автоматического выбора алгоритма снижает зависимость от ручной настройки параметров и делает процедуру организации коллекции более воспроизводимой.

Ключевые слова: гибридная обработка, правиловая классификация, адаптивная кластеризация, цифровые технологии в образовании, автоматический выбор алгоритма, композитная метрика, образовательные документы

1. Introduction

The growing volume of unstructured educational data makes manual annotation infeasible, while rule-based and metadata-driven methods lack accuracy and robustness on heterogeneous corpora [1, 2]. Rule-based approaches are interpretable but labor-intensive, whereas ML methods are adaptive yet resource-hungry.

IntelliDocOrganizer resolves this trade-off via a cascading design: documents with stable formal attributes are immediately classified by type and year, while the rest are routed to adaptive clustering, ensuring full structural organization with a significant performance gain.

2. Methodology

2.1 Rule-Based Classification and Metadata Extraction Module

The rule-based classifier either determines a category for each document or returns a rejection. The knowledge base contains 60 active production rules covering the main categories of educational and scientific documents. The rule configuration is managed at two levels (reference and operational), ensuring flexibility without modifying the code.

The algorithm is based on confidence accumulation: a rule fires when its score is not below the threshold; if no rules fire, a rejection is returned. The dominant category is determined by weighted voting; dissonant rules are penalized.

The document's year of creation is extracted hierarchically: from the content, file name, file system metadata, or a fallback value, with validation within the range of 1900 to the current year plus 10 years.

2.2 Adaptive Clustering Module

2.2.1 Text Vectorization

Unstructured text is converted into numerical representations using a scheme that supports polymorphic method replacement. The primary method used is *TF-IDF* with dimensionality limited to 500 features, Russian stopwords, the Porter stemmer, and n-grams of lengths 1 and 2 [3]. The choice of dimensionality is justified by an explained variance analysis: the first 500 components account for 92.4% of the corpus variance, whereas expanding to 1,000 features increases coverage to only 94.1% while increasing processing time by over 40% and improving the silhouette coefficient by less than 3%. Preprocessing includes lowercasing, punctuation removal, stopword filtering, and stemming, which reduces lexical redundancy without losing semantic informativeness.

The module architecture allows for replacing TF-IDF with modern embedding models (BERT, Sentence-BERT, RuBERT) [4, 5]. In the authors' previous work, the use of dense embeddings combined with hybrid search demonstrated effectiveness in processing geographical texts [6], which confirms the promise of such approaches for educational document classification as well.

2.2.2 Algorithm Registry

The core of the ML module contains a dynamic dispatcher whose registry includes nine clustering algorithms, representing the main families of methods: centroid-based (K-Means), density-based (DBSCAN, OPTICS, HDBSCAN), hierarchical (Agglomerative, BIRCH), probabilistic (Gaussian Mixture), spectral (Spectral), and graph-based (Affinity Propagation).

The ranges of tunable hyperparameters for each algorithm are presented in Table 1. The values are defined based on recommendations found in the literature [7] and refined according to the results of preliminary experiments.

Table 1

Hyperparameter Ranges for Clustering Algorithms

Algorithm	Hyperparameter	Range / Fixed Values
K-Means	n_clusters	from 2 to 15 (step 1)
HDBSCAN	min_cluster_size	2, 3, 5, 7, 10
DBSCAN	eps	0,3; 0,5; 0,7; 1,0
OPTICS	min_samples	3, 5, 7
Agglomerative	n_clusters	from 2 to 15 (step 1)
BIRCH	threshold	0,3; 0,5; 0,7
Gaussian Mixture	n_components	from 2 to 10 (step 1)
Spectral	n_clusters	from 2 to 10 (step 1)
Affinity Propagation	damping	0,5; 0,7; 0,9

2.2.3 Composite Quality Metric

To formalize the task of automatic selection of a clustering algorithm, an additive composite metric Q is introduced, which aggregates four normalized indicators, each reflecting a separate aspect of the quality of collection structuring:

– *silhouette coefficient* $S_{silh} \in [-1, 1]$ – characterizes the internal compactness and separability of clusters;

– *proportion of classified objects* $(1 - R_{noise})$, where R_{noise} – proportion of objects assigned to noise (unclassified);

– *normalized execution time* $T_{\text{norm}} = \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min} + \varepsilon}$, where t – algorithm runtime, $t_{\min}$ и $t_{\max}$ – the minimum and maximum runtime among the compared methods, ε – a small constant to prevent division by zero;

– *penalty for excessive fragmentation* $F_{\text{frag}} = 1 - \frac{k}{k_{\max} + \varepsilon}$, where k – the number of clusters identified, $k_{\max}$ – the maximum allowable number of clusters (in this work $k_{\max} = 15$).

The choice of these particular components is motivated by the following considerations. The silhouette coefficient is the most common internal measure, but using it alone may select algorithms that form too many clusters or leave many objects unclassified. Therefore, the metric is supplemented with a coverage completeness indicator ($1 - R_{\text{noise}}$), which encourages algorithms with minimal noise levels. The third component, normalized time, is introduced to account for computational efficiency, which is critical for practical application. The fourth component, the fragmentation penalty, formalizes the requirement for interpretability of the result: as $k \to k_{\max}$ the value of $F_{\text{frag}} \to 0$, which prevents the selection of algorithms with excessive data fragmentation, even if they demonstrate high silhouette scores and zero noise levels. This penalty function is chosen based on the assumption of a linear decrease in the utility of partitioning as the number of clusters increases, which is consistent with expert evaluation practice.

The final metric takes the following form:

$$Q = w_1 \cdot S_{\text{silh}} + w_2 \cdot (1 - R_{\text{noise}}) + w_3 \cdot (1 - T_{\text{norm}}) + w_4 \cdot F_{\text{frag}}.$$

The weighting coefficients w_1, ..., w_4, were tuned on an independent validation set of 100 documents using a full grid search with a step of 0.05 in the range [0, 1] and subject to the normalization $\Sigma w_i = 1$. The optimal values were: $w_1 = 0{,}45$, $w_2 = 0{,}25$, $w_3 = 0{,}10$, $w_4 = 0{,}20$. Spearman's correlation between the Q values and the averaged expert assessments of structuring quality was $\rho = 0{,}83$ ($p < 0{,}01$), which confirms the adequacy of the proposed metric.

The proposed composite metric Q is not rigidly tied to a specific vectorization method. When switching to dense embedding representations, it may be necessary to adjust the weighting coefficients or replace the silhouette coefficient with the Calinski–Harabasz index or the Dunn index, which perform better in high-dimensional spaces. However, the general principle of additive evaluation, combining coverage completeness, computational cost, and a penalty for excessive fragmentation, retains its universality.

2.3 Experimental Design

The experiment was aimed at comprehensive validation of the hybrid cascading architecture. Three hypotheses were tested:

H1: The documentary flow of academic origin exhibits structural heterogeneity, which makes it possible to divide it into a deterministic core and an uncertain periphery;

H2: Automatic selection of a clustering algorithm based on the composite metric Q provides higher structuring quality compared to any fixed method;

H3: Clusters obtained on the basis of TF-IDF features with centroid-based extraction of key terms are interpreted by experts with an accuracy of no less than 0.85;

The initial corpus consisted of 319 documents (PDF, DOCX, RTF, TXT) of academic origin; for extended validation – 1,230 documents. The experiments were performed on an Intel Core i7-13620H (32 GB RAM) using Python 3.10 and scikit-learn 1.3.2.

3. Results of the Experimental Study

3.1 Results of Rule-Based Classification

Processing 319 documents took on average 0.12 s per document ($\sigma = 0.04$ s). A total of 271 documents were assigned to the deterministic core (coverage of 84,95%). Micro-metrics: precision – 0.91, recall – 0.84, F1 – 0.87; macro-metrics: 0.86, 0.79, and 0.82, respectively.

A breakdown analysis by individual categories is presented in Table 2. The classifier handles the categories «Test/Quiz» (F1 = 0.93) and «Report» (F1 = 0.85) with the highest confidence.

Table 2

Distribution of Documents Classified by the Rule-Based Stage

Document category	Amount	Share of the classified portion, %
Test/Quiz	98	36,2
Report	33	12,2
Abstract	22	8,1
Conference paper	18	6,6
Review	14	5,2
Article	12	4,4
Homework	8	3,0
Terms of Reference	6	2,2
Protocol	5	1,8
Other categories	55	20,3

The timestamp extraction procedure made it possible to correctly determine the year for 294 documents (92,2%). Distribution by source: 47,3% – from content, 31,6% – from file name, 13,3% – from file system metadata, 8,8% – fallback source.

3.2 Results of Adaptive Clustering

A total of 200 documents were submitted to the clustering input (48 unclassified + 152 from the archive). Nine algorithms were compared in terms of silhouette score, noise proportion, and runtime. The final composite metric Q was calculated with weights $w_1 = 0,45$, $w_2 = 0,25$, $w_3 = 0,10$, $w_4 = 0,20$.

The results are presented in Table 3. The maximum $Q = 0,412$ was obtained for K-Means with $k = 10$. The algorithm achieved zero noise, a moderate silhouette score (0.177), and a fragmentation coefficient $F_{frag} = 0,855$.

Table 3

Comparative Characteristics of Clustering Algorithms

Algorithm	Q	S_silh	Number of clusters	Noise rate, %	Time, s
K-Means	0,412	0,177	10	0,0	3,19
BIRCH	0,387	0,433	69	0,0	0,63
OPTICS	0,352	0,543	29	33,5	1,39
Affinity Propagation	0,348	0,348	30	0,0	0,85
Agglomerative	0,344	0,200	8	0,0	0,65
Spectral	0,340	0,195	9	0,0	1,07
HDBSCAN	0,329	0,299	14	21,5	2,71
DBSCAN	0,310	0,734	5	76,0	0,52
Gaussian Mixture	0,120	0,000	1	0,0	35,61

Five-fold cross-validation confirmed the leadership of K-Means: mean $Q = 0,407$ with a standard deviation of 0.018. The algorithm selection was performed automatically by maximizing Q, without expert correction.

3.3 Analysis of Cluster Structure

The final clustering was performed using the K-Means method with $k = 10$. The distribution of documents across clusters, presented in Table 4, turned out to be highly asymmetric: the three largest groups cover 68% of the sample, with the coefficient of variation in cluster sizes reaching 98,5%.

Table 4

Cluster Characteristics (K-Means)

ID	Size	Share, %	Key terms (top-5)
6	71	35,5	processing, language, text, model, classification
5	39	19,5	task, solution, example, algorithm, code
3	26	13,0	assessment, criterion, score, indicator, quality
2	15	7,5	conference, paper, article, abstract, publication
8	10	5,0	program, computer, algorithm, computation, code
9	10	5,0	project, team, development, management, Docker
0	8	4,0	statistics, analysis, probability, method, research
4	8	4,0	conference, presentation, article, material, publication
7	8	4,0	forecasting, series, time, model, analysis
1	5	2,5	competence, assessment, skill, ability, criterion

All ten clusters received meaningful expert interpretation. The array of conference publications split into two stable subclusters (IDs 2 and 4), confirming the method's sensitivity to subtle lexical differences.

Expert assessment of cluster interpretability was 0.89 (95% confidence interval 0.83–0.95); Fleiss' kappa coefficient of agreement was $k = 0,77$, which confirms hypothesis H3.

3.4 Integral Assessment of System Performance

The overall results of processing the entire collection are summarized in Table 5. The total processing time was 297 seconds (4 minutes 57 seconds), the average time per document was 0,93 seconds, and the throughput was 64,4 documents per minute.

Table 5

Integral Performance Indicators of the IntelliDocOrganizer System

Indicator	Value
Total collection processing time	4 min 57 s
Average processing time per document	0,93 s
Throughput	64,4 doc/min
Share of documents processed by the rule-based stage	84,95%
Share of documents processed by the ML stage	15,05%
Share of documents that received structural organization	100%
Rule-based classification precision (micro)	0,91
Rule-based classification recall (micro)	0,84
Share of clusters that received meaningful interpretation	100%

All 319 documents received structural organization: 271 were classified by the rule-based stage, and 48 were incorporated into thematic clusters. When applied to the extended corpus (1,230

documents), the coverage of the rule-based stage remained at 87,3%, with precision in the range of 89–92%.

4. Discussion of Results

The results confirm all three hypotheses: the rule-based core covers 84,95% with a precision of 0.91; automatic selection based on Q yielded K-Means (Q = 0.412); cluster interpretability reached 0.89. The identified limitations include: first, the sensitivity of density-based algorithms to hyperparameters; second, low absolute silhouette coefficient values in sparse TF-IDF spaces; third, the batch-mode clustering, which does not support incremental updates.

Conclusion

This paper proposes and implements a hybrid cascading architecture of the IntelliDocOrganizer system, combining production-rule classification with adaptive clustering and automatic algorithm selection based on a composite quality metric.

The rule-based stage, operating on 60 active rules, covered approximately 85% of the collection with a precision above 0.91. The composite metric Q, which aggregates silhouette score, coverage completeness, runtime, and a fragmentation penalty, showed high correlation with expert assessment ($\rho = 0,83$) and enabled automatic selection of the clustering algorithm without expert correction. The clusters obtained on TF-IDF features with centroid-based term extraction demonstrated 100% expert interpretability.

Testing on the extended corpus confirmed the stability of the performance indicators. Further development is associated with incremental clustering and comparison of TF-IDF with embeddings, including the use of approaches previously validated by the authors in related tasks of multilingual text processing [6].

References

1. Carel E., Voerman J., Gicquel P.-Y., Poulain d'Andecy V. Automatic classification of company's document stream: Comparison of two solutions // Pattern Recognition Letters. – 2023. – Vol. 172. – P. 181–187.

2. Rijcken E., Zervanou K., Mosteiro P., et al. Machine learning vs. rule-based methods for document classification of electronic health records within mental health care: A systematic literature review // Natural Language Processing Journal. – 2025. – – Vol. 10. – Article 100129. – P. 1–15.

3. Arabov, M. K., & Volkova, M. M. Methods of hybrid classification and semantic clustering of unstructured text documents with question-answering search. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2025. – (11) – P. 210–212.

4. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Minneapolis, USA, 2019. – Vol. 1. – P. 4171–4186.

5. Reimers N., Gurevych I. Sentence BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 2019 International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP). Hong Kong, China, 2019. – P. 3982–3992.

6. Arabov M. K., Khaybullina S. S., Naumetova D. Tatarstan Toponyms: A Bilingual Dataset and Hybrid RAG System for Geospatial Question Answering // Computational Linguistics in Bulgaria. – 2026. – Vol. 2, No. 1. – P. 41–63. – DOI: 10.47810/JCLIB.2.2026.03.

7. Campello R. J. G. B., Moulavi D., Sander J. Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates // Advances in Knowledge Discovery and Data Mining: 17th Pacific-Asia Conference (PAKDD 2013). Gold Coast, Australia, 2013. Proceedings, Part II. Berlin: Springer, 2013. – P. 160–172.

УДК 343.2

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК СПОСОБ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КОРРУПЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА НИЖНЕКАМСКА)

Зиганшина Н.Ф., к.филол.н., доцент Казанского инновационного университета им. В.Г. Тимирясова, г. Нижнекамск, Россия;
ORCID: 0000-0002-5519-7854

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES AS A MEANS OF COMBATING CORRUPTION (A CASE STUDY OF THE CITY OF NIZHNEKAMSK)

Ziganshina N.F., PhD in Philology, associate professor of Kazan innovative university named after V.G. Timiryasov, Nizhnekamsk, Russia;
ORCID: 0000-0002-5519-7854

Аннотация

В статье рассмотрены основные положения противодействия коррупции в условиях стремительного развития цифровых технологий, указаны положительные стороны этого процесса и потенциальные проблемы. Изучена цифровая трансформация Республики Татарстан в профилактике и противодействии коррупции. Представлен анализ применения цифровых технологий с целью противодействия коррупции на примере города Нижнекамска. Приведены данные опроса горожан, подтверждающие актуальность данной проблемы. Автором проанализирован передовой опыт, который используется в Нижнекамске для профилактики и борьбы с коррупцией: платформа «Цифровой Нижнекамск», система видеонаблюдения, системы с применением искусственного интеллекта, бот «Кама» с ИИ. Раскрыт положительный эффект внедрения данных технологий для предупреждения коррупционных действий.

Ключевые слова: цифровые технологии, противодействие коррупции, город Нижнекамск, искусственный интеллект, система видеонаблюдения, муниципальное хозяйство

Abstract

The article examines the key principles of anti-corruption efforts amidst the rapid development of digital technologies, highlighting both the benefits and potential challenges associated with this process. It explores the digital transformation of the Republic of Tatarstan regarding corruption prevention and control. An analysis of the use of digital technologies to combat corruption is presented, using the city of Nizhnekamsk as a case study. Survey data from local residents are cited to underscore the relevance of this issue. The author analyzes best practices employed in Nizhnekamsk for corruption prevention and control, including the "Digital Nizhnekamsk" platform, video surveillance systems, AI-based systems, and the AI-powered "Kama" chatbot. The positive impact of implementing these technologies on the prevention of corrupt activities is highlighted.

Keywords: digital technologies, anti-corruption, Nizhnekamsk, artificial intelligence, video monitoring system, municipal services and infrastructure

Введение

Коррупция является сложным и многомерным общественным явлением, что затрудняет предотвращение коррупционных преступлений и преследование виновных в их совершении. «Цифровая революция» меняет жизнь и общество, затрагивая как профессиональную, так и личную жизнь населения, оказывая влияние на все сферы деятельности: экономика, политика, производство и т.д. Развитие технологий, искусственного интеллекта, использование

алгоритмов, анализ больших данных привели к изменению парадигмы в области добросовестности и антикоррупции. Постепенно на уровне государственных и местных властей приходит понимание необходимости использования стремительно развивающихся цифровых технологий для успешного предотвращения и борьбы с коррупцией.

Актуальность темы исследования обусловлена следующими факторами:

– на сегодняшний день коррупция представляет собой острую проблему, негативно влияющую на функционирование общества в целом;

– цифровая трансформация, которая определена президентом Владимиром Путиным как одна из национальных целей, является перспективным средством противодействия коррупции;

– свидетельством повышенного интереса общества к данной проблеме является проведение соответствующих конференций и форумов с участием представителей органов власти, деловых, научных и общественных организаций.

Цель работы: на примере города Нижнекамска проанализировать применение цифровых технологий в противодействии и борьбе с коррупцией.

Основная часть

В современном мире в целом и в Российской Федерации в частности коррупция представляет собой актуальную проблему, которая оказывает негативное воздействие на функционирование государства. В нашей стране разработаны и внедрены федеральные и местные законы, цель которых предотвращение коррупции.

Профессор Кабанов П.А. приводит различные классификации коррупционного поведения в обществе: в зависимости от инициатора коррупционных отношений, в зависимости от национального состава участников, в зависимости от формы проявления, в зависимости от сфер проявления и распространения коррупции и другие [1; с. 11-14].

Цифровизация всех сфер государственной и общественной жизни стала мировым трендом и Россия не исключение в этом вопросе. По мнению Н.А. Живодровой и К.В. Крыловой, «Цифровые государственные услуги и электронное правительство – это инструменты, которые служат в борьбе с коррупцией путем расширения доступа к общественной информации, мониторинга деятельности должностных лиц, оцифровки государственных служб. Информация, к которая является открытой, к которой есть общий доступ, может способствовать выявлению коррупциогенных факторов» [2; с. 110].

Согласно данным исследователей, существует обратная связь между динамикой цифровизации государственного сектора и уровнем коррупционной преступности: при увеличении объема цифровизации в секторе государственных услуг на 5% уровень бытовой коррупции снизился на 3% [3].

Антикоррупционная политика современного информационного государства, основывается на использовании следующих категорий цифровых инструментов:

1) электронные системы управления данными для предоставления государственных услуг гражданам, то есть электронное правительство;

2) антикоррупционные краудсорсинговые платформы, которые позволяют большому числу граждан сообщать о фактах коррупции;

3) инструменты для сбора информации о коррупции для обеспечения уголовного преследования;

4) информационные порталы «прозрачности», которые управляются НКО и публикуют информацию о деятельности чиновников;

5) базы данных, где вся информация передается, проверяется и сохраняется;

6) технологии искусственного интеллекта, которые обрабатывают большой объем информации и способны выявлять коррупционные риски [4].

Таким образом, цифровые технологии способствуют снижению уровня коррупции, поощряя добросовестное управление, снижая вероятность коррупционного поведения,

улучшая отношения между чиновниками и общественностью, позволяя гражданам контролировать поведение государственных служащих. Однако следует учитывать, что цифровизация не искореняет проблему коррупции в какой бы то ни было отрасли, поскольку любое преступное явление адаптируется под новые реалии. Цифровизация помогает прежде всего искоренить низовую или бытовую коррупцию, но порождает новые коррупциогенные схемы. Например, современные коррупционеры активно используют биткоины для получения вознаграждения.

В настоящее время необходима консолидация усилий разработчиков технологий, органов власти, бизнес-структур, общественных и научных организаций по внедрению и совершенствованию цифровых технологий для борьбы с коррупцией.

Современные технологии позволяют минимизировать контакт чиновников с гражданами, снизить сроки принятия решения и сократить пакет необходимых документов, что существенно уменьшает риск возникновения коррупционных ситуаций.

Закономерным итогом цифровой трансформации в Республике Татарстан стало сокращение количества коррупциогенных факторов. Так, начиная с 2010 года, в этом направлении была проделана колоссальная работа:

– началась эксплуатация электронных терминалов самообслуживания граждан, с помощью которых предоставлялись государственные услуги;

– начат процесс регламентирования и постепенного перевода муниципальных услуг в электронный вид;

– внедрены системы «Электронная очередь в детский сад», «Портал здравоохранения РТ2 и другие;

– в сфере сельского хозяйства запущен сервис «Мои субсидии»;

– за последние 15 лет цифровые технологии были внедрены во всех направлениях социально-экономической деятельности РТ. Граждане республики могут получить государственные и муниципальные услуги, не обращаясь непосредственно в учреждения.

Свидетельством готовности властей Республики Татарстан к поиску новых решений, направленных на повышение прозрачности органов власти и минимизацию коррупционных рисков, является проведение секции «Цифровая трансформация в профилактике коррупции: вызовы и возможности» на международном форуме «Kazan Digital week 2025».

Также следует отметить важнейшие цифровые разработки республики, направленные в том числе на противодействие коррупции:

– региональный портал госуслуг, интегрированный с мессенджером Max;

– Государственная информационная система «Народный контроль» и, в частности, раздел «Противодействие коррупции», который стал эффективным инструментом вовлечения граждан в общественный контроль за деятельностью чиновников;

– сервис «Госконсьерж», созданный для персонального сопровождения граждан в цифровом пространстве государственных услуг;

Таким образом, развитие информационных технологий внесло существенные изменения во взаимодействие граждан Республики Татарстан с представителями власти, сделав его более удобным и прозрачным. Лидирующие позиции в области цифровизации способствуют сокращению потерь от коррупции, стимулируют экономический рост, содействуют реализации всех мер социальной поддержки и создают благоприятные условия для жизни граждан Республики.

Как следует из результатов опроса населения, размещенном на официальном сайте Нижнекамского муниципального района, проблема противодействия коррупции в органах государственной власти и местного самоуправления является для горожан актуальной [5].

Социологический опрос, который проводился ежегодно с 2023 по 2025 гг., был направлен на выявление динамики коррупции и эффективности антикоррупционной политики в городе. На вопрос «Попадали ли вы в последнее время в коррупционную ситуацию?» в 2025 г.

120 человек (из 5.635) ответили «да», причем из них 53 человека в этой ситуации, по их словам, решили дать взятку. 21% респондентов считает, что одной из основных причин коррупции является недостаточный контроль за действиями чиновников. Степень осведомленности о принимаемых антикоррупционных мерах в городе достаточно высокая. 17% положительно оценивают работу Отдела по противодействию коррупции Исполнительного комитета Нижнекамского муниципального района. Важно отметить положительную динамику этой оценки: в 2023 году положительно работу оценили 13% респондентов, в 2024 – 15%, а в 2015 – 17%. Тревогу вызывает, что в сознании населения сохраняется готовность в случае необходимости вступить в коррупционную ситуацию.

Для нижнекамской власти важно не просто зафиксировать проблему, а добиться ее решения, поэтому любое уведомление, поступившее в ГИС РТ «Народный контроль», остается в работе до тех пор, пока по нему не будет найдено решение. В результате уровень выполнения заявок в Нижнекамске выше, чем в среднем по Татарстану: 76% в Нижнекамске против 72% по республике (за 10 месяцев 2025 года).

Целенаправленная работа по внедрению цифровых технологий с целью противодействия коррупции в городе Нижнекамске осуществляется в нескольких направлениях.

Важнейшей разработкой, несомненно, является инновационная платформа «Цифровой Нижнекамск», представляющая собой систему онлайн-мониторинга. На ней интерактивные панели отображают более семидесяти ключевых показателей жизни города. С помощью данной платформы удалось сократить время передачи данных между ведомствами с 10 до 2 минут. Внедрение данной платформы содержит ряд возможностей для предупреждения коррупционных действий.

Во-первых, прозрачность управления, так как данная система позволяет отслеживать все ключевые показатели управления городским хозяйством, делая административные процессы открытыми и контролируемыми.

Во-вторых, долгосрочное хранение данных, то есть предотвращение утраты или подмены информации способствует большей подотчетности и возможности ретроспективного анализа решений чиновников разного уровня.

В-третьих, единое информационное пространство устраняет информационные барьеры между ведомствами, снижая таким образом потенциал коррупционных схем.

Отдельно следует отметить, что система онлайн мониторинга коммунальной техники предоставляет муниципальным учреждениям эффективный инструмент в борьбе с коррупцией благодаря следующим возможностям:

– прозрачность использования ресурсов через отслеживание точных маршрутов, времени работы и расхода топлива;

– контроль выполнения работ: подтверждение фактически выполненных задач с GPS-треками;

– объективная отчетность: автоматический сбор данных без возможности ручного вмешательства;

– предотвращение нецелевого использования: исключение возможности использования техники в личных целях;

В результате использования этой системы устраняется ряд коррупциогенных факторов:

– исключаются фиктивные работы и приписки в актах выполненных работ

– снижаются возможности для незаконных соглашений между подрядчиками и проверяющими

– предотвращается хищение горюче-смазочных материалов через контроль фактического расхода топлива

– оптимизируется распределение ресурсов, сокращая избыточные закупки техники

Следующим важный решением стало внедрение разветвленной системы видеонаблюдения на улицах города и в общественных учреждениях Нижнекамска. По уровню проникно-

вения видеонаблюдения Нижнекамск уверенно лидирует в Татарстане. На сегодняшний день на территории города развёрнута масштабная сеть из 11 тысяч 141 камеры. За 8 месяцев этого года система помогла раскрыть более 140 преступлений.

Для максимальной эффективности применяется комплексный подход к размещению оборудования, обеспечивающий полный охват ключевых городских зон. Значительным дополнением системы городской безопасности стали современные IP-домофоны.

Положительный антикоррупционный эффект системы видеонаблюдения прослеживается в следующих показателях:

– контроль общественных пространств: широкое покрытие города камерами снижает возможности для незаконной деятельности в общественных местах.

– объективная фиксация нарушений, что исключает бытовую коррупцию.

– прозрачность муниципальных работ, так как видеонаблюдение позволяет контролировать качество и фактический объем выполнения работ подрядчиками по муниципальным контрактам.

– снижение коррупционных рисков, так как осознание постоянного наблюдения значительно снижает вероятность неформальных договоренностей между гражданами и представителями власти

Системы с применением искусственного интеллекта также вносят значительный вклад в профилактику коррупции в Нижнекамске. Ключевым фактором снижения коррупционных рисков с использованием систем искусственного интеллекта является исключение человеческого фактора.

В качестве примера автоматизированного выявления нарушений можно назвать проект по фиксации нарушений при перевозке стройматериалов без тента. Автоматическая система фиксации устраняет прямой контакт между инспектором, в результате:

– отсутствие возможности «договориться на месте»;

– объективность фиксации нарушений, так как технические средства фиксации делают это беспристрастно;

– единые стандарты применяются ко всем транспортным средствам;

– прозрачность процесса;

– цифровые доказательства нарушений (фото/видеоматериалы);

– автоматическое документирование всех этапов процесса;

– централизация обработки нарушений, что минимизирует возможности воздействия на отдельных сотрудников.

Еще одним интересным примером является автоматизированная система выявления несанкционированных свалок и нарушений, связанных с выбросом мусора. Система фиксирует автомобильные номерные знаки и передает информацию в административную комиссию. Положительный эффект:

– исключение человеческого фактора, так как автоматическая система фиксации номеров устраняет возможность «договориться на месте» с инспектором;

– полная цифровая фиксация нарушения – создаётся неопровержимое доказательство с автомобильным номером, что делает невозможным произвольное закрытие дела;

– прозрачность процесса – вся информация фиксируется в системе, что обеспечивает прослеживаемость от момента нарушения до наложения штрафа;

– автоматизация передачи в административную комиссию – снижает риск «потери» материалов на пути к рассмотрению;

– объективность выявления нарушений – система не имеет предвзятости и фиксирует все нарушения без исключений.

Интересным примером цифрового контроля функционирования городского хозяйства также является система контроля городской инфраструктуры с применением ИИ. Система в автоматическом режиме фиксирует неработающие фонари, дефекты на дорожном полотне,

несанкционированную рекламу на остановках, на опорах освещения, факты неубранного снега и так далее. За три месяца работы данная система помогла выявить 347 нарушений.

Данный проект существенно снижает коррупционные риски за счет:

– устранения человеческого фактора: автоматическая фиксация исключает возможность сговора между инспекторами и подрядчиками;

– создания объективной базы данных: система беспристрастно документирует все нарушения, не позволяя «закрывать глаза» на определенные объекты;

– прозрачного контроля исполнения: автоматически отслеживаются сроки устранения дефектов, что усложняет возможность затягивания работ;

– цифрового следа всех операций: любые действия в системе фиксируются, что упрощает аудит и выявление подозрительных паттернов;

– равного подхода ко всем подрядчикам: система не делает исключений, обеспечивая справедливую конкуренцию.

Таким образом, непредвзятость алгоритмов ИИ не поддается коррупционному влиянию и действует на основе объективных критериев.

Новейшей разработкой в сфере цифровизации Нижнекамска стал запущенный в октябре 2025 г. цифровой помощник администрации – бот «КАМА» с ИИ, имя и аватар которому выбирали народным голосованием. Внедрение позволило сделать процесс профилактики коррупции эффективнее, прозрачнее и удобнее для всех участников процесса:

– повышена доступность и удобство каналов связи городских чиновников с гражданами;

– увеличена скорость реакции на возможные случаи коррупции;

– улучшено качество мониторинга и анализа ситуации в городе;

– осуществляется регулярное повышение осведомленности граждан и сотрудников о важности предупреждения коррупции.

Таким образом, использование информационных технологий с целью противодействия и борьбы с коррупцией имеет ряд очевидных преимуществ. И, как показал проведенный анализ, Нижнекамск по многим параметрам занимает лидирующие позиции в Республике Татарстан. Однако цифровые технологии не следует рассматривать в качестве основного средства борьбы с коррупцией. Исход этой борьбы по-прежнему в значительной степени зависит от идеологии государства, его правовой политики, культуры и самосознания граждан.

Список литературы

1. Кабанов П. А., Райков Г. И., Чирков Д. К. Политическая коррупция в условиях реформирования российской государственности на рубеже веков: Монография. – Москва : Дружба народов, 2008. – С. 14-17.

2. Живодрова Н. А., Крылова К. В. Противодействие коррупции в условиях цифровизации // Право и цифровые технологии: Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Новополоцк, 2023. – С. 110.

3. Sidorenko E/L/, Lykov A.A. Digital Economy and Anti-Corruption: New Digital Models // Eurasia: Sustainable Development, Security, Cooperation – 2019. https://www.researchgate.net/publication/337489295_Digital_Economy_and_Anti-Corruption_New_Digital_Models (дата обращения 15.10.2025).

4. Adam, I., Fazekas, M. Are emerging technologies helping win the fight against corruption? A review of the state of evidence. // *Information Economics and Policy*, 2021. https://www.researchgate.net/publication/354610219_Are_emerging_technologies_helping_win_the_fight_against_corruption_A_review_of_the_state_of_evidence (дата обращения 15.10.2025).

5. Результаты опроса изучение мнения населения о коррупции // Официальный сайт Нижнекамского муниципального района [сайт]. – URL: https://www.e-nkama.ru/documents/3687/ (дата обращения 10.10.2025).

УДК 343.13

ВЕКТОРЫ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО УГОЛОВНОГО ПРОЦЕССА

Ибрагимова А.М., к.ю.н., доцент кафедры основ управления, организации и цифровизации прокурорской деятельности Казанского юридического института (филиала) Университета прокуратуры Российской Федерации, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-1245-7928;
E-mail: alissamansurovna@yandex.ru

DEVELOPMENT VECTORS OF HIGH-TECH CRIMINAL PROCEDURE

Ibragimova A.M., Candidate of Legal Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamentals of Management, Organization, and Digitalization of Prosecutorial Activities at the Kazan Law Institute (Branch) of the University of the Prosecutor's Office of the Russian Federation, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-1245-7928;
E-mail: alissamansurovna@yandex.ru

Аннотация

В соответствии с Концепцией технологического развития на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 № 1315-р, обозначены цели технологического развития государства и механизмы достижения таких целей. Определяя круг мероприятий технологического развития, концепция не предусматривает таковых для реализации отдельных функций государства.

Данный концептуальный недостаток отмечается в юридической литературе [20, с. 126], при исследовании вопросов цифровой трансформации уголовного судопроизводства.

В этой связи автором предлагаются концептуальные направления цифровой трансформации уголовного судопроизводства и их содержание.

Ключевые слова: информационные технологии, уголовный процесс, уголовно-процессуальные отношения с использованием информационных технологий, цифровые платформы уголовного судопроизводства, правосознание в эпоху информационных технологий, правое регулирование в эпоху информационных технологий

Abstract

The Concept of Technological Development for the Period up to 2030, approved by Directive of the Government of the Russian Federation No. 1315-r dated May 20, 2023, outlines the state's technological development goals and the mechanisms for achieving them. While defining the scope of technological development measures, the Concept does not provide for measures aimed at the implementation of specific state functions.

This conceptual shortcoming has been noted in legal literature [20, p. 126] during the study of issues related to the digital transformation of criminal proceedings.

In light of this, the author proposes conceptual directions for the digital transformation of criminal proceedings and outlines their content.

Keywords: information technologies, criminal proceedings, criminal procedural relations using information technologies, digital platforms for criminal proceedings, legal awareness in the era of information technologies, legal regulation in the era of information technologies

Введение

В последние годы уделяется большое внимание повышению технологического суверенитета страны, что не может не отразиться и на государственном управлении, на деятель-

ности государственных органов, в том числе и тех, деятельность которых связана с защитой и охраной прав и свобод человека.

Исследованию вопросов цифровизации, цифровой трансформации уголовного судопроизводства посвятили свои работы многие авторы. Вопросам технологической инфраструктуры уголовного судопроизводства посвятили свои работы В.Н. Григорьев [7], А.И. Зазулин [10], С.В. Зуев [6, 12], Н.А. Моругина [12, 13], И.Р. Бегишев [3], А.В. Майоров [3]. Исследованию отдельных аспектов безопасности уголовного судопроизводства в условиях цифровизации посвятили свои труды А.Ю. Епихин [8, 9], А.В. Мишин [9], вопросами доказывания и видами доказательств в условиях цифровизации интересовались В.Б. Вехов [5], Н.Г. Муратова [14], П.С. Пастухов [15], С.Б. Россинский [16], А.Б. Смушкин [17].

Однако, по справедливому мнению И.Р. Бегишева [2, с. 461], одной из первых концептуальных работ, посвященных вопросам использования информационных технологий и систем в уголовном судопроизводстве, основанных на рискориентированном подходе, является диссертационное исследование А.Ю. Чуриковой.

В то же время многие вопросы, связанные с возможными изменениями уголовно-процессуальной формы, соотношением с традиционной уголовно-процессуальной формой, содержание и форма регулирования уголовно-процессуальных отношений с использованием информационных технологий нуждаются в дальнейшем исследовании и выработке теоретических основ и практических решений.

В этой связи автором предпринята попытка определить концептуальные направления развития высокотехнологичного уголовного процесса и механизмы их реализации.

Методика

Автором использовался необходимый методологический инструментарий.

В исследовании преобладал диалектический метод, используемый при осмыслении закономерностей и тенденций расширения предмета правового регулирования уголовно-процессуального права в связи с использованием информационных технологий, основных направлений развития информационных технологий в уголовном судопроизводстве, правосознания, способа правового регулирования уголовно-процессуальных отношений с использованием информационных технологий.

В поиске путей развития уголовного процесса автором использовался метод моделирования технологической инфраструктуры уголовного процесса, способа правового регулирования. Данные для моделирования получены в результате анализа существующих информационных технологий и систем, отношения среди теоретиков и практиков к изменению уголовно-процессуальных отношений, тенденций в развитии правовой системы российского государства и синтеза полученных знаний в предлагаемые выводы. Попутно автором использовались методы индукции и дедукции.

Основная часть

Единого концептуального решения, посвященного вопросу цифровой трансформации уголовного судопроизводства, принятого на государственном уровне, в настоящее время не имеется.

Отдельные ведомственные организационно-распорядительные документы лишь отчасти касаются вопросов цифровизации деятельности государственных органов в части их участия в уголовном судопроизводстве.

Например, в органах прокуратуры приказом Генерального прокурора Российской Федерации от 12.05.2026 № 356 «О проведении опытной эксплуатации государственной автоматизированной системы правовой статистики» восстановлен функционал модуля «Правовая статистика», работа которого приостанавливалась в 2020 году.

В октябре 2024 года произошла атака на серверы судов Российской Федерации привела к сбою в работе ГАС «Правосудие». Данное обстоятельство лишний раз подтвердило недо-

статочность решений по вопросу использования информационных технологий в уголовном судопроизводстве, принимаемых на ведомственном уровне.

В этой связи представляется, что документы стратегического планирования, принимаемые государственными органами для достижения технологической самостоятельности страны, необходимы и на уровне отраслевого и межотраслевого правового регулирования с учетом особенностей сферы и потребностей общества.

Представляется, что на уровне государственного регулирования должны быть определены мероприятия в: технологическом, организационном, правовом направлениях, а также предложены конкретные механизмы для их реализации в целях обеспечения синхронности цифровой трансформации в государственном управлении в целом, в том числе и в вопросах уголовного судопроизводства.

Рассматривая технологическое направление цифровой трансформации необходимо отметить, что реализация мероприятий в рамках данного направления уже частично произошла.

В частности, речь идет о том, что цифровые платформы, которые обеспечивают автоматизацию деятельности, используются на ведомственном уровне всеми участвующими в уголовном судопроизводстве субъектами.

В судебной системе используется далее – ГАС «Правосудие», органы и организации прокуратуры используют ГАС ПС, Автоматизированный информационный комплекс «Надзор-WEB», Систему межведомственного электронного взаимодействия, в органах внутренних дел – Информационную систему обмена документами Министерства внутренних дел. Физические лица могут обращаться в государственные органы через Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций) (далее – ЕПГУ). Указанные технологии обеспечивают электронную фиксацию данных по уголовному делу и электронный документооборот между участвующими в уголовном судопроизводстве субъектами.

Кроме того, возможности видео-конференц-связи позволяют обеспечивать участие в следственных действиях и судебном следствии участников удаленно. Аудио протоколирование обеспечивает прозрачность судебного разбирательства. Кроме того, в настоящее время аудио протоколу отдается предпочтение при возникновении противоречий с письменным протоколом [8, с. 511].

В соответствии с частью 2 статьи 166 УПК РФ производство следственного действия может сопровождаться фотографированием, киносъемкой, аудио- и видеосъемкой. Данное обстоятельство существенно обогащает уголовно-процессуальную деятельность и позволяет обеспечить максимальную достоверность и прозрачность проводимых следственных действий, а также полученных в ходе их производства доказательств. Однако ввиду отсутствия в уголовно-процессуальном законе нормативно закрепленных положений о том, что это самостоятельный вид доказательств (не считая категории «любые сведения») правоприменительная практика идет по пути признания электронных носителей, содержащих фото, аудио-, видеоматериалы, вещественными доказательствами, которые приобщаются и хранятся при уголовном деле.

Кроме того, существенным препятствием для признания фото, аудио-, видеоматериалов самостоятельными доказательствами без привязки к их носителю является тот факт, что уголовно-процессуальный закон не содержит электронный формат ведения уголовного дела. Вместе с тем, в юридической литературе в настоящее время предлагаются конкретные практические решения, позволяющие закрепить в уголовно-процессуальном законе такую возможность.

По мнению Н.А. Моругиной необходима разработка и внедрение новой Федеральной государственной информационной системы – «Единый реестр досудебных расследований Российской Федерации » (далее – ЕРДР РФ) для обеспечения сквозной алгоритмизации полного цикла уголовно-процессуальной деятельности с автоматизацией типовых действий, кон-

тролем и надзором, технологически и информационно совместимой с ГАС «Правосудие» [13, с. 178].

Представляется, что внедрение единой системы, обеспечивающей сквозное досудебное производство, должно обеспечить и удаленный доступ для иных лиц в уголовном судопроизводстве (потерпевший, свидетель, адвокат и др.). В качестве технологического решения при взаимодействии с государственными органами в Российской Федерации хорошо зарекомендовал себя ЕПГУ. В этой связи, полагаем необходимым обеспечение технологической и информационной совместимости ЕРДР РФ не только с ГАС «Правосудие», но и с ЕПГУ.

Таким образом, механизм обеспечения реализации мер по формированию высокотехнологического уголовного процесса в рамках технологического направления включают:

1) технические возможности производства следственных действий с использованием современных технологий;

2) технические возможности обеспечения доказательств различного формата – в форме электронного образа документа, машиночитаемый текст, фото, кино, аудио- и видеофайлы;

3) электронный формат уголовного дела, обеспечивающий сквозное досудебное и судебное производство, позволяющий обеспечить удаленный доступ для субъектов, участвующих в производстве по уголовному делу и не обладающих властными полномочиями;

4) внедрение технических решений, обеспечивающих бесперебойное ведение высокотехнологичного уголовного процесса, независимых от сети Интернет [6, с. 61].

Надлежаще функционирующие информационные технологии и системы являются гарантом для социализации людей к технологическим изменениям.

По мнению некоторых авторов, российское правосознание характеризуется как частично неразвитое, несформированное и незрелое, отличается фрагментарностью и противоречивостью [1, с. 30]. В этой связи, представляется, что процесс активного проникновения цифровых инструментов в различные сферы жизни не изменило общее настроение в обществе по отношению к праву. По мнению Н.А. Бердяева [4, с. 4-5], русский народ желает не свободы в государстве, а свободы от государства. В данном ключе можно лишь предположить, что цифровой код станет еще одним средством воплощения правового нигилизма в попытке заменить право новым регулятором.

Следовательно, укрепление правосознания людей как обыденного, так и профессионального необходимо в целях сохранения представления о праве как регулятора общественных отношений, в которых используются информационные технологии, а не отдельных явлений, в частности цифровых технологий.

По нашему мнению, это возможно благодаря правовому просвещению, в процессе которого будет преодолены правовой нигилизм и правовой инфантилизм, а также тупик в вопросе дальнейшего развития права в формирующейся цифровой парадигме общества.

Прежде всего речь идет о формировании профессионального правосознания – правовое просвещение в процессе получения среднего профессионального или высшего образования:

1) включение дисциплин о цифровизации в юридическое и иное образование,

2) расширение практики профессиональной переподготовки юристов для работы с цифровыми продуктами. Сформируется осознание того, что алгоритмизация не может и не должна заменить правовые механизмы регулирования.

Правовое просвещение в данном ключе направлено на формирование отношения к цифровым возможностям как к инструменту, функционирование которого должно регулироваться человеком через правовые механизмы.

В то же время стимулирование работников, успешно использующих информационные технологии в своей деятельности, также должно осуществляться в рамках правового поля с использованием имеющихся в праве средств поощрения работодателем работников.

В рамках обозначенного нами вектора правового просвещения весьма актуальным является вопрос о том, что из себя будет представлять право в будущем, какой будет его форма.

В данном контексте возможные пути развития права в эпоху цифровизации рассматривает Т.Я. Хабриева [19, с. 15], выдвигая три основные гипотезы:

– право трансформируется в иной социальный регулятор, допуская появление программного кода или некой гибридной формы;

– право сохранит свои субстанциональные признаки и будет мирно сосуществовать с программным кодом;

– появится новая нормативная система, которая займет свое место в системе социальных норм наряду с правом, моралью, религией.

Представляется, что в первом и третьем случае роль права в жизни общества снижается. В этой связи сложно согласиться с тем, что право должно быть полностью упаковано в программный код. Кроме того, современный этап развития права свидетельствует о все более возрастающем его значении, о повышении урегулированности многих сфер жизни общества, ранее не находящиеся в сфере внимания права.

Отправной точкой и методологическим ориентиром на пути должны стать конституционные принципы и нормы. Какой бы ни была цифровая реальность по степени ее развитости, она в конечном счете должна подпадать под действие Конституции как нормативного акта, имеющего высшую юридическую силу в российской правовой системе, в том числе по отношению к законоположениям, регулирующим указанную сферу новых отношений.

По этой причине, допустимым и приемлемым путем дальнейшего развития должно стать сохранение регулирующего воздействия права, допускающего существование программного кода, соответствующего базовым принципам права. Именно сохранение регулирующего потенциала права станет гарантией предотвращения алгоритмизации окружающей деятельности.

При этом, справедливо предположить, что качественные изменения общественных отношений потребуют смещения угла зрения с существующей системы права с преимущественно отраслевым делением на иную структуру, включающую из себя наряду с базовыми и отраслевыми нормами так называемые комплексные правовые образования и «циклические правовые массивы» [18, с. 90-91].

Однако данное обстоятельство не нивелирует значение существующих отраслей права. Лишь свидетельствует о необходимости комплексного, а порой и ситуативного правового регулирования их предмета. Механизм структурирования правовой материи в данном ключе представляет собой проникновение цикличного правового массива, отражающего потребности общества, в материнскую отрасль, в которую имплементируются нормы цикличных правовых массивов, сохраняя при этом отраслевое регулирующее значение материнских норм. Однако он проливает свет на существующую в литературе дискуссию о дальнейшем развитии юридической науки и практики в связи с изменением качества общественных отношений под воздействием развивающихся информационных технологий, гипотезой о возможном снижении его регулирующего воздействия и замещении программным кодом.

Таким образом, представляется что базовые принципы и нормы, регулирующие уголовно-процессуальную деятельность, сохранят свое регулирующее значение. Однако в связи с расширением предмета правового регулирования благодаря появлению уголовно-процессуальной деятельности с использованием информационных технологий и изменением формы такого предмета потребуется кросс-модальное правовое регулирование нормами уголовно-процессуального, а также информационного права [11]. Необходимые в данном ключе мероприятия для кросс-модального правового регулирования уголовно-процессуальных отношений с использованием информационных технологий:

– разработка нормативной основы высокотехнологичной уголовно-процессуальной формы;

– включение в действующее уголовно-процессуальное законодательство правовых норм, определяющих правила осуществления уголовно-процессуальной деятельности с использованием информационных технологий;

– сохранение существующей правовой основы уголовного судопроизводства в традиционной форме;

– имплементация норм информационного права в уголовно-процессуальное законодательство, регулирующее уголовно-процессуальные отношения с использованием информационных технологий.

Выводы

Таким образом, векторы развития высокотехнологического уголовного процесса можно определить в виде следующих основных направлений:

1) технические возможности производства следственных действий с использованием современных технологий;

2) технические возможности обеспечения доказательств различного формата – в форме электронного образа документа, машиночитаемый текст, фото, кино, аудио- и видеофайлы;

3) электронный формат уголовного дела, обеспечивающий сквозное досудебное и судебное производство, позволяющий обеспечить удаленный доступ для субъектов, участвующих в производстве по уголовному делу и не обладающих властными полномочиями;

4) внедрение технических решений, обеспечивающих бесперебойное ведение высокотехнологичного уголовного процесса, независимых от сети Интернет;

5) включение дисциплин о цифровизации в юридическое и иное образование;

6) расширение практики профессиональной переподготовки юристов для работы с цифровыми продуктами, в процессе чего формируется осознание того, что алгоритмизация не может и не должна заменить правовые механизмы регулирования;

7) разработка нормативной основы высокотехнологичной уголовно-процессуальной формы;

8) включение в действующее уголовно-процессуальное законодательство правовых норм, определяющих правила осуществления уголовно-процессуальной деятельности с использованием информационных технологий;

9) сохранение существующей правовой основы уголовного судопроизводства в традиционной форме;

10) имплементация норм информационного права в уголовно-процессуальное законодательство, регулирующее уголовно-процессуальные отношения с использованием информационных технологий.

Список литературы

1. Баранов П. П. Методологические проблемы правосознания в эпоху правовой цифровизации // Гуманитарий юга России. 2020. Том 9 (44) № 4. С. 26-41.

2. Бегишев И. Р. Отзыв на автореферат диссертации Чуриковой Анны Юрьевны на тему «Использование информационных технологий и систем в уголовном судопроизводстве: возможности, риски, правовое регулирование» // Социальное управление. 2024. Т.6, № 12. С. 461 (458-462).

3. Бегишев И. Р., Майоров А. В. Цифровая трансформация уголовного судопроизводства: теоретические основы и проблемы правового регулирования // Правопорядок: история, теория, практика. 2026. № 1(48). С. 67-72.

4. Бердяев Н. А. Судьба России. Опыты по психологии войны и национальности. – М. : Философское общество ССР, 1990. – 240 с.

5. Вехов В.Б. Цифровые доказательства, содержащиеся в электронных модулях средств индивидуальной мобильности // Транспортное право и безопасность. 2026. № 1(57). С. 151-161.

6. Высокотехнологичный уголовный процесс: монография / под ред. докт. юрид. наук С.В. Зуева, докт. юрид. наук Л.Н. Масленниковой. – М.: Юрдитинформ, 2023. 216 с.

7. Григорьев В. Н., Суходолов А. П., Ованесян С. С., Спасенникова М. Г., Тюньков В. В. Цифровые информационные платформы как предмет нормативно-правового регулирования в сфере уголовного судопроизводства // Всероссийский криминологический журнал. 2019. Т. 13, № 6. С. 873-883.

8. Епихин А. Ю., Гришина Е. П. Аудиопротоколирование судебного заседания как гарантия прав и законных интересов участников уголовного судопроизводства // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. 2024. Т. 34, № 3. С. 510-516.

9. Епихин А. Ю. Мишин А. В. Цифровое обеспечение процесса применения мер безопасности в уголовном судопроизводстве // Юридический вестник Дагестанского государственного университета. 2025. Т. 54, № 2. С. 156-163.

10. Зазулин А. И. Цифровизация судопроизводства: проблемы модернизации уголовного процесса и пути их преодоления (на примере Королевства Дания) // Ex jure. 2021. № 4. С. 128-140.

11. Зорькин В. Д. Право в цифровом мире // Выступление Валерия Зорькина на Петербургском международном юридическом форуме. [Электронный ресурс]. URL.: https://alrf.ru/news/pravo-v-tsifrovom-mire-vystuplenie-valeriya-zorkina-na-pmyuf/ (дата обращения: 20.07.2026).

12. Зуев С. В., Моругина Н. А. Электронное уголовное дело: теоретическая модель // Вестник Казанского юридического института МВД России. 2024. Т. 15. № 3 (57). С. 83-94.

13. Моругина Н. А. Электронное уголовное дело: проектирование единой цифровой платформы в Российской Федерации на примере Республики Казахстан // Юридическая наука и практик: Вестник Нижегородской академии МВД России. 2026. № 2 (74). С. 172-180.

14. Муратова Н. Г., Сергеев М. С. Правовое регулирование применения электронной информации и электронных носителей информации в уголовном судопроизводстве: отечественный и зарубежный опыт: монография / под ред. канд. юрид. наук. М.В. Беляева. М.: Юрлитинформ, 2019. 264 с.

15. Пастухов П. С. «Электронные доказательства» в нормативной системе уголовно-процессуальных доказательств // Пермский юридический альманах. 2019. № 2. С. 695-707.

16. Россинский С. Б. Кибернетическмий подход к пониманию уголовно-процессуальных доказательств: пределы и перспективы применимости // Jus strictum. 2026. № 2. С. 35-42.

17. Смушкин А. Б. Новые информационные компоненты в формировании электронных доказательств по уголовным делам (современная дорожка электронно-цифровых следов) // Сибирское юридическое обозрение. 2025. Т. 22, № 3. С. 455-468.

18. Хабриева Т. Я., Черногор Н. Н. Право в условиях цифровой реальности // Журнал российского права. 2018. № 1. С. 85-102.

19. Хабриева Т. Я. Право перед вызовами цифровой реальности // Журнал российского права. 2018. № 9. С. 5-16.

20. Чурикова А. Ю. Использование информационных технологий и систем в уголовном судопроизводстве: возможности, риски, правовое регулирование: дис. … д-ра юрид. наук / Саратов, 2024. 498 с.

УДК 314.7:332.1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕГИОНА

Ибятов Л.Р., аспирант Казанского кооперативного института (филиала) Российского университета кооперации, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-5313-3147;
E-mail: ibyatov_l@mail.ru

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR STUDYING THE IMPACT OF MIGRATION PROCESSES ON THE ECONOMIC SECURITY OF A REGION

Ibyatov L.R., Graduate student, Kazan Cooperative Institute (branch) of the Russian University of Cooperation, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-5313-3147;
E-mail: ibyatov_l@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются теоретические подходы к исследованию миграционных процессов сквозь призму экономической безопасности региона. На основе анализа зарубежных и отечественных теорий автор выделяет ключевые парадигмы, объясняющие причины, механизмы и последствия миграции. Особое внимание уделяется классификации миграционных потоков, а также вопросам пространственной дифференциации миграционных эффектов. В работе предлагается подход к систематизации рисков, связанных с миграцией, на региональном уровне. Делается вывод о двойственной природе миграционных процессов: они могут выступать как фактором экономического роста, так и источником угроз для социально-экономической стабильности. Отдельно рассматривается специфика вынужденной миграции, создающей дополнительные вызовы для региональных систем управления.

Ключевые слова: миграция, экономическая безопасность региона, миграционные риски, теории миграции, классификация миграции, рынок труда, вынужденная миграция, пространственная дифференциация

Abstract

The article examines theoretical approaches to the study of migration processes through the prism of economic security of the region. Based on the analysis of foreign and Russian theories, the author identifies key paradigms explaining the causes, mechanisms and consequences of migration. Special attention is paid to the classification of migration flows, as well as to the issues of spatial differentiation of migration effects. The paper proposes an approach to systematizing the risks associated with migration at the regional level. The conclusion is made about the dual nature of migration processes: they can act as both a factor of economic growth and a source of threats to socio-economic stability. The specifics of forced migration, which creates additional challenges for regional governance systems, are considered separately.

Keywords: migration, economic security of the region, migration risks, migration theories, classification of migration, labor market, forced migration, spatial differentiation

Введение

Миграционные процессы в современном мире представляют собой сложный социально-экономический феномен. Они оказывают системное влияние на развитие регионов, формируя как новые возможности, так и серьезные вызовы для экономической безопасности.

Двойственная природа миграции – её способность одновременно стимулировать экономический рост и создавать риски для стабильности – делает эту тему одной из наиболее актуальных в современной науке.

Актуальность исследования подтверждается и на государственном уровне. В Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400, обеспечение экономической безопасности определено в качестве одного из стратегических приоритетов. Кроме того, в Концепции государственной миграционной политики Российской Федерации на 2019–2025 годы (утверждена Президентом РФ 31 октября 2018 г.) миграция рассматривается как фактор, требующий системного регулирования. Как представляется, именно на стыке миграционной и экономической политики формируется проблемное поле, требующее дальнейшего теоретического осмысления.

Теоретические основания исследования миграции. Теоретическое осмысление миграции имеет достаточно длительную историю. В научной литературе сложилось несколько ключевых парадигм, каждая из которых раскрывает определённые аспекты этого феномена. Рассмотрим их последовательно.

Классическая теория миграционных законов Э. Равенштейна (1885). Этот исследователь первым сформулировал систематизированные закономерности миграционных процессов. Согласно его подходам, миграционные потоки зависят от расстояния, экономических факторов и социальных условий. Большинство мигрантов перемещаются на относительно короткие расстояния, при этом женщины более склонны к миграции на короткие дистанции, а мужчины — на дальние. Кроме того, Равенштейн обратил внимание на то, что миграция происходит поэтапно (ступенчато) и каждый крупный миграционный поток порождает встречный [1]. На наш взгляд, именно эта теория заложила фундамент для понимания пространственных закономерностей миграции.

Концепция «выталкивающих-притягивающих» факторов (push-pull) Э. Ли (1966). Данная теория, как известно, постулирует, что решение о миграции формируется под воздействием комплекса факторов, действующих как в регионах выхода, так и в регионах въезда. К числу «выталкивающих» факторов относятся низкие зарплаты, безработица, социальная нестабильность, а к «притягивающим» — высокие зарплаты, наличие рабочих мест, качество жизни. Важной новацией Э. Ли стало введение понятия «промежуточных препятствий» — расстояния, языкового барьера, визовых ограничений. Следует отметить, что данная концепция и сегодня остаётся доминирующей в объяснении индивидуальных миграционных решений [2].

Отечественные структурно-фазовые модели. В российской научной традиции значительный вклад в изучение миграции внесла Ж.А. Зайончковская. Она разработала концепцию «трёх стадий миграционного процесса»: принятие решения, собственно перемещение и адаптация на новом месте. Кроме того, Зайончковская исследовала взаимосвязь миграции с рынком труда, что особенно ценно для нашего анализа [3]. В свою очередь, Л.Л. Рыбаковский предложил структурно-фазовую модель, акцентирующую внимание на пространственно-временной динамике миграционных потоков [4]. Как нам представляется, эти модели особенно релевантны для анализа постсоветского пространства.

Теория сегментированного рынка труда М. Пиоре (1979). Согласно этой теории, экономика развитых стран структурно разделена на два сегмента: первичный (высокооплачиваемый, стабильный, с хорошими условиями труда) и вторичный (низкооплачиваемый, нестабильный). Мигранты, как правило, заполняют ниши вторичного сегмента, формируя устойчивую зависимость отдельных отраслей от иностранной рабочей силы. К таким отраслям относятся строительство, жилищно-коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, общепит. Следует обратить внимание на то, что, согласно Пиоре, сами мигранты оказываются «запертыми» в этих нишах, что создает системные риски при изменении миграционной политики или внешнеэкономической конъюнктуры [5].

Теория кумулятивной причинности Д. Мэсси (1990). Эта теория, на наш взгляд, является одной из наиболее интересных. Мэсси утверждает, что миграционный процесс воспроизводит сам себя. Миграционный опыт индивида становится источником «миграционного социального капитала», который снижает издержки и риски для последующих мигрантов. Сформировавшиеся миграционные сети создают устойчивые каналы перемещения. В результате миграция продолжается даже после того, как первоначальные выталкивающие или притягивающие факторы исчезли [6]. Это объясняет, почему миграционные потоки часто оказываются крайне инерционными.

Миросистемный подход (И. Валлерстайн и др.). Данная парадигма рассматривает миграцию в контексте глобальной капиталистической системы. Эта система разделена на ядро (развитые страны), полупериферию и периферию. Миграционные потоки, согласно данному подходу, направлены с периферии в ядро и обусловлены структурным неравенством в оплате труда, неравномерным распределением капитала и ресурсов. Миросистемный подход, как мы полагаем, хорошо объясняет долгосрочные тренды международной миграции, однако его использование на региональном уровне сопряжено с определенными сложностями [7].

Резюмируя обзор теорий, следует отметить, что каждая из них имеет свои ограничения. Классические экономические теории позволяют анализировать количественные параметры миграционных потоков, но не учитывают институциональные и сетевые факторы. Миросистемный подход объясняет глубинные причины миграции, но сфокусирован преимущественно на странах выхода. Теории Пиоре и Мэсси ценны для понимания механизмов воспроизводства миграции и отраслевых рисков, однако они сложны для операционализации в системе количественных индикаторов. В связи с этим мы считаем целесообразным синтез элементов различных теоретических подходов с акцентом на качественные характеристики миграционных потоков и региональную специфику.

Классификация миграционных процессов. Для целей анализа экономической безопасности нам представляется целесообразным классифицировать миграционные процессы по ряду критериев. Ниже, в табл. 1, предложена классификация, разработанная с учётом задач оценки рисков и потенциала миграции для региональной экономики.

Таблица 1

Классификация миграционных процессов

Критерий классификации	Виды миграции	Влияние на экономическую безопасность
По направлению	Внутренняя	Влияет на перераспределение трудовых ресурсов внутри страны, может усиливать межрегиональные диспропорции
	Внешняя (иммиграция, эмиграция)	Создает риски и возможности для региональной экономики; иммиграция может компенсировать депопуляцию, эмиграция — усиливать «утечку умов»
По временному признаку	Постоянная	Оказывает долгосрочное воздействие на демографическую и экономическую структуру региона
	Временная (сезонная, маятниковая)	Создает краткосрочные эффекты и риски для рынка труда, менее влияет на социальную инфраструктуру
По причинам	Экономическая (трудовая)	Влияет на рынок труда, уровень зарплат, отраслевую структуру экономики

Окончание табл. 1

Критерий классификации	Виды миграции	Влияние на экономическую безопасность
	Социальная (воссоединение семей, образование)	Оказывает косвенное влияние через социальную сферу; образовательная миграция — важный ресурс для экономики знаний
	Вынужденная (беженцы, переселенцы)	Создает уникальные угрозы, выходящие за рамки экономической нагрузки: социальная напряжённость, необходимость экстренного размещения

Как видно из таблицы, наиболее сложным и требующим отдельного внимания является тип вынужденной миграции. В отличие от трудовой, вынужденная миграция носит, как правило, внезапный и масштабный характер. Это не позволяет региональным властям заблаговременно подготовить инфраструктуру для размещения и интеграции прибывающих. Кроме того, среди вынужденных мигрантов высока доля женщин, детей и пожилых людей, что увеличивает нагрузку на социальную сферу. Всё это, на наш взгляд, требует особого подхода к регулированию, включая механизмы резервирования бюджетных средств на случай кризисных ситуаций.

Экономические аспекты миграции. Понимание причин миграции, как представляется, имеет ключевое значение для оценки её влияния на экономическую безопасность региона. Классическая теория «выталкивания-притяжения», как мы уже отмечали, выделяет комплекс экономических детерминант.

К числу основных экономических факторов миграции относятся:

– межрегиональные и межстрановые различия в оплате труда;
– уровень безработицы и наличие свободных рабочих мест;
– отраслевая структура спроса на рабочую силу;
– инвестиционная активность и уровень развития реального сектора экономики;
– доступность и стоимость жилья;
– качество социальной инфраструктуры.

При этом следует обратить внимание на один важный дисбаланс. Работодатель, приглашающий мигранта, получает доступ к более дешёвой рабочей силе. Это позволяет ему снизить издержки на оплату труда (по некоторым оценкам, экономия может достигать 20–30% по сравнению с наймом местных работников). Однако государственный бюджет региона, обеспечивающий социальную поддержку мигранта и его семьи (медицинское страхование, образование для детей), сталкивается с дополнительной финансовой нагрузкой. По приблизительным оценкам, бюджетная нагрузка на одного мигранта в год может составлять от 50 до 70 тыс. рублей. Этот дисбаланс между частными выгодами и общественными издержками, на наш взгляд, требует отдельного внимания при разработке региональной политики.

Влияние миграции на экономическую безопасность региона. Миграция, как известно, оказывает существенное влияние на демографическую безопасность региона. Приток населения, особенно лиц трудоспособного возраста, способствует омоложению возрастной структуры, снижению демографической нагрузки на пенсионную систему и компенсации естественной убыли населения. В условиях депопуляции ряда российских регионов, по нашему мнению, миграция становится ключевым источником восполнения трудовых ресурсов.

Однако наряду с позитивными эффектами, миграционные процессы генерируют и системные риски. Среди них можно выделить следующие:

1. На рынке труда: массовый приток низкоквалифицированной рабочей силы может создавать давление на уровень заработной платы в соответствующих секторах и усиливать неформальную занятость.

2. В социальной сфере: концентрация мигрантов в крупных городах приводит к превышению нормативной нагрузки на объекты социальной инфраструктуры (детские сады, школы, поликлиники), что, в свою очередь, может ухудшать качество услуг для местного населения.

3. В бюджетной сфере: нелегальная миграция приводит к недополучению налоговых доходов.

4. В отраслевой структуре: формируется устойчивая зависимость ключевых секторов экономики (строительство, ЖКХ, транспорт) от иностранной рабочей силы.

Особо следует сказать о вынужденной миграции. В отличие от трудовой, она создает уникальные угрозы для национальной безопасности:

– рост социальной напряжённости в местах компактного размещения;

– риск этнических и межконфессиональных конфликтов;

– необходимость экстренных бюджетных расходов, не заложенных в плановые бюджеты.

Таким образом, вынужденная миграция требует отдельного методического подхода и координации на федеральном уровне.

Пространственная дифференциация миграционных эффектов. Как показывает анализ, миграционные эффекты распределены внутри регионов крайне неравномерно. Это особенно заметно в полицентричных регионах-реципиентах, где основные потоки направлены в столицу субъекта и крупные агломерации. Периферийные территории при этом часто теряют население и сталкиваются с дефицитом кадров.

Для более точного анализа мы предлагаем следующую пространственную типологию миграционных потоков (табл. 2).

Таблица 2

Пространственная классификация миграционных потоков

Тип	Характеристика	Примеры	Основные риски
Центро-периферийный	Миграция направлена в региональный центр и крупные города-спутники	Казань, Екатеринбург, Новосибирск	Перегрузка инфраструктуры центра, рост цен на жильё; периферия теряет население
Внутрирегиональный	Перемещение между муниципалитетами внутри региона	Пригородные зоны, вахтовые посёлки	Неравномерное распределение налоговых доходов, дефицит кадров в отдельных МО
Транзитный	Регион — промежуточный пункт	Приграничные регионы, транспортные узлы	Сложность учёта мигрантов, риск нелегального нахождения

Учёт этой дифференциации, на наш взгляд, является необходимым условием для разработки эффективной региональной миграционной политики.

Одним из дискуссионных вопросов является необходимость децентрализации федеральной методики оценки миграционных рисков. С одной стороны, федеральные подходы обеспечивают единообразие и сопоставимость данных. С другой – они часто не учитывают региональную специфику.

Оптимальной является гибридная модель. Федеральный центр устанавливает целевые ориентиры и базовую методологию, а регионы адаптируют её с учётом локальной специфики. При этом должны соблюдаться следующие условия:

– сохранение единого методического ядра (федеральные KPI должны быть обязательными для всех);

– право регионов дополнять федеральные показатели региональными индикаторами (доля мигрантов в отраслях, нагрузка на инфраструктуру, уровень межэтнической напряжённости);

– ежегодная корректировка методик с учётом изменения ситуации;

– единая система отчётности для возможности межрегиональных сравнений.

Такая модель позволит сочетать единое федеральное регулирование с учётом региональных особенностей.

Заключение

Проведённый теоретический анализ позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Миграционные процессы оказывают двойственное влияние на экономическую безопасность региона. С одной стороны, они способствуют восполнению трудовых ресурсов и омоложению демографической структуры. С другой – генерируют риски, связанные с нагрузкой на инфраструктуру, сегментацией рынка труда и социальной напряжённостью.

2. Ни одна из рассмотренных теоретических парадигм в отдельности не даёт полной картины влияния миграции на экономическую безопасность. Наиболее продуктивным представляется синтез подходов: классических теорий (для количественного анализа), теории сегментированного рынка труда (для отраслевой оценки) и концепции кумулятивной причинности (для понимания устойчивости миграционных каналов).

3. Вынужденная миграция создаёт уникальные угрозы, выходящие за рамки простой экономической нагрузки. Эти риски требуют отдельного подхода и координации на федеральном уровне.

4. Пространственная дифференциация миграционных эффектов является важным фактором, который необходимо учитывать при разработке региональной политики.

5. Децентрализация методики оценки рисков представляется целесообразной, но при сохранении единого методического ядра и унифицированной системы отчётности.

Таким образом, миграция должна рассматриваться как комплексный фактор развития региона, требующий системного подхода к регулированию.

Список литературы

1. Ravenstein E.G. The Laws of Migration // Journal of the Statistical Society of London. – 1885. – Vol. 48, № 2. – P. 167–235.

2. Lee E.S. A Theory of Migration // Demography. – 1966. – Vol. 3, No 1. – P. 47–57.

3. Зайончковская Ж. А. Миграция и рынок труда в России // Проблемы прогнозирования. – 2010. – № 5. – С. 23–38.

4. Рыбаковский Л. Л. Миграция населения: вопросы теории. – М. : ИСПИ РАН, 2003. – 238 с.

5. Piore M.J. Birds of Passage: Migrant Labor and Industrial Societies. – Cambridge : Cambridge University Press, 1979. – 229 p.

6. Massey D.S. Social Structure, Household Strategies, and the Cumulative Causation of Migration // Population Index. – 1990. – Vol. 56, № 1. – P. 3–26.

7. Wallerstein I. The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century. – New York : Academic Press, 1974. – 410 p.

8. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации : утв. Указом Президента РФ от 02.07.2021 № 400. – URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046 (дата обращения: 20.08.2026).

9. Концепция государственной миграционной политики Российской Федерации на 2019–2025 годы: утв. Президентом РФ 31.10.2018. – URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/46955. (дата обращения: 20.08.2026).

УДК 338.2

УПРАВЛЕНИЕ РЕПУТАЦИОННЫМ КАПИТАЛОМ РЕГИОНА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ: МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КЛИЕНТОЦЕНТРИЧНОГО ПРАВИТЕЛЬСТВА

Кабиров Б.Р., аспирант, ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-1141-9741

REGIONAL REPUTATION CAPITAL MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION: MECHANISMS FOR FORMING A CUSTOMER-CENTERED GOVERNMENT

Kabirov B.R., postgraduate student, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-1141-9741

Аннотация

В условиях цифровой трансформации государственного управления репутация региона становится ключевым нематериальным активом, определяющим его инвестиционную привлекательность, конкурентоспособность и качество взаимодействия с ключевыми группами стейкхолдеров. В статье рассматриваются механизмы управления репутационным капиталом региона через внедрение клиентоцентричных стандартов в деятельность органов исполнительной власти. На основе анализа теоретических подходов и эмпирического исследования региональных практик (Сахалинская, Иркутская, Ульяновская, Новосибирская области) предложена комплексная технология управления репутацией региона в цифровой среде, включающая мониторинг цифровых коммуникаций, оценку удовлетворённости стейкхолдеров и реинжиниринг государственных услуг в соответствии с жизненными ситуациями граждан. Разработанный алгоритм позволяет выявить проблемные зоны и сформировать стратегию укрепления региональной репутации на основе принципов клиентоцентричности, открытости данных и оперативной обратной связи. Особое внимание уделяется специфике регионального управления как сфере, где репутация формируется под влиянием качества предоставления государственных услуг, прозрачности власти и эффективности цифровых коммуникаций.

Ключевые слова: репутационный капитал региона, цифровая трансформация, клиентоцентричное правительство, государственное управление, цифровое доверие, открытые данные, обратная связь с гражданами, жизненные ситуации, реинжиниринг услуг, региональное развитие, стейкхолдеры региона

Abstract

In the context of the digital transformation of public administration, a region's reputation is becoming a key intangible asset that determines its investment attractiveness, competitiveness, and the quality of interaction with key stakeholder groups. The article examines the mechanisms for managing a region's reputational capital through the implementation of customer-centric standards in the activities of executive authorities. Based on an analysis of theoretical approaches and empirical

research of regional practices (Sakhalin, Irkutsk, Ulyanovsk, and Novosibirsk regions), a comprehensive technology for managing a region's reputation in the digital environment is proposed, including monitoring of digital communications, assessment of stakeholder satisfaction, and reengineering of public services in accordance with citizens' life situations. The developed algorithm makes it possible to identify problem areas and formulate a strategy for strengthening regional reputation based on the principles of customer-centricity, data openness, and prompt feedback. Particular attention is paid to the specifics of regional governance as a sphere where reputation is formed under the influence of the quality of public services, government transparency, and the effectiveness of digital communications.

Keywords: regional reputational capital, digital transformation, customer-centric government, public administration, digital trust, open data, citizen feedback, life situations, service reengineering, regional development, regional stakeholders

Введение

В современном мире репутация региона выступает значимым нематериальным активом, определяющим его инвестиционную привлекательность, конкурентоспособность и качество взаимодействия с ключевыми группами стейкхолдеров. Цифровая трансформация государственного управления, разворачивающаяся в Российской Федерации в рамках национальных целей развития до 2036 года, создаёт принципиально новые условия для формирования и управления региональной репутацией.

Цифровизацию государственного управления следует рассматривать не только как технологический процесс перевода услуг в онлайн-формат, но и как качественное изменение характера взаимодействия между властью и обществом. В этом контексте репутация региона становится динамической категорией, формируемой в значительной степени через цифровые каналы коммуникации и практику предоставления электронных государственных услуг. Как отмечают исследователи, при оценке репутации региона всё большее значение приобретает анализ частоты поисковых запросов в интернете, отзывов на независимых платформах, активности в социальных сетях, а также тональности публикаций о деятельности региональных органов власти.

Особая значимость исследования обусловлена тем, что цифровая трансформация создаёт двойственный эффект для региональной репутации. С одной стороны, успешная цифровизация повышает прозрачность деятельности органов власти, ускоряет предоставление услуг и создаёт дополнительные каналы обратной связи, что способствует росту доверия граждан. В то же время цифровое неравенство, технические сбои и недостаточная цифровая компетентность населения могут усиливать репутационные риски и углублять разрыв между регионами-лидерами и аутсайдерами.

Ключевым трендом современной государственной политики становится переход к клиентоцентричной модели публичного управления. В рамках федерального проекта «Государство для людей» осуществляется внедрение стандартов клиентоцентричности в деятельность органов исполнительной власти субъектов РФ. Данный подход предполагает смещение акцента с доминирующей роли государства как носителя властных полномочий к его функции поставщика общественно значимых услуг, где легитимность власти во многом определяется удобством, доступностью и эффективностью предоставления государственных и муниципальных услуг.

Цель статьи – выявить механизмы влияния цифровой трансформации на репутацию регионов через призму клиентоцентричного подхода, определить факторы формирования цифрового доверия и разработать рекомендации по управлению репутационными рисками в условиях цифровизации государственного управления.

Теоретическое осмысление взаимосвязи цифровой трансформации и репутации регионов базируется на междисциплинарном подходе, объединяющем теории государственного

управления, коммуникативистики и региональной экономики. В работах Д.О. Гулюкина обосновывается, что «успешная трансформация требует не только внедрения передовых технологий, но и глубоких институциональных реформ, изменения организационной культуры и разработки адекватных систем оценки» [1]. Исследователи отмечают, что «несмотря на комплексную законодательную базу и существующие цифровые государственные услуги, государства сталкиваются с серьезными барьерами, укорененными в бюрократической ригидности, слабой вовлеченности граждан, дефиците подотчетности и хрупкой институциональной целостности» [2].

Важный аспект, выделяемый в научной литературе, связан с влиянием цифрового неравенства на региональную репутацию. Исследования показывают, что разрыв в уровнях цифрового развития между регионами не только усиливает социально-экономическую дифференциацию, но и создаёт репутационные разрывы: регионы-аутсайдеры воспринимаются как менее привлекательные для жизни и ведения бизнеса [3]. В условиях цифровой трансформации репутационный капитал региона всё чаще связывается с уровнем «цифрового доверия», которое формируется под влиянием доступности и качества цифровых услуг, прозрачности процессов принятия решений и эффективности обратной связи.

Анализ международного опыта показывает, что цифровая трансформация может выступать инструментом восстановления доверия к государственным институтам. В исследовании Росмала и Салман на примере индонезийской провинции Риау установлено, что «цифровые коммуникации государственных органов оказывают положительное и значительное влияние на восстановление общественного доверия путем повышения прозрачности и доступности государственной информации» [10].

Анализ научных источников показывает, что проблематика влияния цифровизации на репутацию регионов находится на пересечении нескольких исследовательских направлений. При этом недостаточно разработанными остаются вопросы системного управления репутационным капиталом региона через внедрение клиентоцентричных стандартов, а также методики оценки репутационных эффектов цифровизации государственного управления.

Методика

Методологическую основу исследования составляют системный и институциональный подходы к анализу процессов цифровой трансформации государственного управления и их влияния на региональную репутацию. В работе использовались общенаучные методы: анализ и синтез, сравнение и обобщение, индукция и дедукция.

Для анализа теоретических основ применялся метод контент-анализа научной литературы и официальных документов, позволивший выявить ключевые подходы к пониманию взаимосвязи цифровизации и репутации регионов. Использовался метод сравнительного анализа для сопоставления репутационных эффектов цифровой трансформации в различных регионах России.

При исследовании текущего состояния цифровизации и его репутационных последствий применялся метод статистического анализа данных рейтингов цифровой трансформации субъектов РФ, включая рейтинг руководителей цифровой трансформации (далее – РЦТ) за 2024-2025 гг. и рейтинг цифровой экосистемы регионов Агентства политических и экономических коммуникаций (АПЭК) за 2025 г.

Метод кейс-стади использовался для углублённого анализа успешных практик управления региональной репутацией в условиях цифровой трансформации на примере регионов-лидеров (Республика Татарстан, Сахалинская, Ульяновская и Иркутская области) и отстающих регионов.

Эмпирическую базу исследования составили официальные документы Правительства Российской Федерации, аналитические материалы Аналитического центра при Правительстве РФ, Агентства политических и экономических коммуникаций, данные рейтингов цифровой

трансформации регионов, а также результаты научных исследований отечественных и зарубежных авторов.

Основная часть

Анализ эмпирических данных позволяет утверждать, что цифровая трансформация выступает одним из ключевых факторов формирования репутации региона в современной информационной среде. Взаимосвязь между уровнем цифровизации и репутационным капиталом региона проявляется по нескольким направлениям, которые могут быть систематизированы в рамках модели клиентоцентричного правительства.

Внедрение клиентоцентричных стандартов в деятельность региональных органов власти становится системным фактором укрепления репутации региона. В рамках федерального проекта «Государство для людей», курируемого заместителем председателя правительства – руководителем Аппарата Правительства России Дмитрием Григоренко, особое внимание уделяется выявлению потребностей человека и постоянному улучшению взаимодействия органов власти и граждан. Как подчёркивается в официальных заявлениях, «качество и удобство государственных услуг, доброжелательный и открытый подход сотрудников ведомств – ключевые элементы успешного государственного управления».

Региональная практика демонстрирует прямую корреляцию между внедрением клиентоцентричных подходов и укреплением репутации территорий. Сахалинская область, удостоенная диплома «Прорыв года: Регионы» за первое место в рейтинге субъектов РФ по внедрению принципов и стандартов клиентоцентричности, демонстрирует системный подход к трансформации государственного управления [6]. Как отмечает министр цифрового и технологического развития Сахалинской области Александр Снегирев, «в проекте участвует 35 органов исполнительной власти, оценка проводится более чем по 250 критериям», что свидетельствует о комплексном характере репутационного эффекта.

Аналогичные результаты демонстрирует Иркутская область, ставшая лауреатом премии «Лидер клиентоцентричности» на Всероссийском форуме «Государство для людей» в 2026 году [7]. Уникальный проект региона – Единый контакт-центр правительства Иркутской области – представляет собой не просто горячую линию, а целую «экосистему заботы о людях», вошедшую в топ-10 лучших практик из 196 решений 58 регионов страны. Примечательно, что в основе репутационного эффекта лежат чёткие метрики: «коэффициент дозвона, уровень сервиса, индексы удовлетворённости граждан и потребительской лояльности стабильно высоки».

Клиентоцентричная модель предполагает переход от «ведомственной логики» к «логике жизненных ситуаций» граждан. Ульяновская область, вошедшая в пятёрку лучших регионов по внедрению стандартов клиентоцентричности, реализует пять региональных жизненных ситуаций: «Многодетная семья», «Поддержка малоимущей многодетной семьи», «Социальное сопровождение отдельных категорий семей», «Запись на программу дополнительного образования» и «Обеспечение бесплатным питанием школьников» [8]. Как показывает опыт региона, оптимизация услуг в соответствии с жизненными ситуациями позволяет сократить сроки предоставления услуг, количество требуемых документов и визитов в ведомства.

Новосибирская область демонстрирует высокий уровень зрелости клиентоцентричности – 94%. Как подчеркнул первый заместитель губернатора Юрий Петухов, «за цифрами должны стоять реальные дела. Качество обслуживания и удовлетворение потребностей граждан – главные критерии оценки нашей работы» [9]. К текущему моменту в регионе завершён реинжиниринг 54% процессов, включая процессы предоставления субсидий, налоговых льгот, приёма и регистрации обращений, что подтверждает системный характер трансформации.

На основе системного анализа можно выделить четыре основных канала влияния цифровой трансформации на репутацию региона через призму клиентоцентричности (рис. 1).



Рис. 1. Каналы влияния цифровой трансформации на репутацию региона в модели клиентоцентричного правительства

Качество цифровых государственных услуг. Данный канал включает доступность услуг в электронном виде, удобство пользовательского интерфейса, скорость предоставления услуг, надежность и бесперебойность работы цифровых систем. Исследования показывают, что при оценке репутации региона всё большее значение приобретает анализ частоты поисковых запросов в интернете и отзывов на независимых платформах. Как отмечается в рейтинге цифровой экосистемы регионов, регионы-лидеры «демонстрируют эффективное развитие по всем компонентам: обладают развитой инфраструктурой, максимальной глубиной сервисов, внедряют инновационные технологии и обеспечивают высокое качество пользовательского опыта» [8].

Прозрачность и открытость власти. Цифровые технологии создают новые возможности для раскрытия информации о деятельности органов власти, бюджетном планировании, реализации государственных программ. В рамках сервисной модели публичной власти цифровизация способствует росту доверия к институтам власти за счёт повышения прозрачности и управляемости административных процессов. При этом исследователи предостерегают от риска «управляемой прозрачности», при которой цифровые инструменты используются для демонстрации открытости при сохранении жёсткого контроля над повесткой.

Обратная связь с гражданами. Цифровые платформы (порталы госуслуг, социальные сети, единые контакт-центры) обеспечивают двустороннюю коммуникацию между властью и обществом. Как показывает опыт Центров управления регионами (далее – ЦУР), система мониторинга и обработки обращений граждан в социальных сетях демонстрирует высокую эффективность: скорость ответа на обращения сократилась с 30 дней до 3,5-5 часов. За прошлый год только в Татарстане оставлено более 122 тыс. жалоб и предложений, которые обрабатываются через специальную федеральную систему автоматического распределения по ответственным службам [7]. Исследования подтверждают, что онлайн-доверие является многомерной категорией, на которую влияют факторы позитивного восприятия институтов, политической эффективности онлайн-инициатив и удовлетворительного прошлого опыта.

Эффективность управления. Цифровизация внутренних процессов региональных органов власти, внедрение систем управления на основе данных повышают качество управленческих решений, что в конечном счёте отражается на социально-экономических показателях и репутации региона. Эмпирические исследования показывают, что доверие к государственным институтам формируется под влиянием трёх ключевых факторов, связанных с цифровизацией: доступность и качество цифровых услуг, прозрачность процессов принятия решений, эффективность обратной связи.

Цифровая трансформация наряду с возможностями создаёт и значительные репутационные риски для регионов, которые могут быть систематизированы в табл. 1.

Таблица 1

Репутационные риски цифровой трансформации и механизмы их минимизации в клиентоцентричной модели

Риск	Характер проявления	Механизмы минимизации
Цифровое неравенство	Разрыв в доступе к цифровым услугам между регионами и группами населения	Целевые программы развития инфраструктуры, мобильные сервисы, обучение цифровой грамотности
Инциденты ИБ	Утечки данных, сбои систем, кибератаки	Внедрение стандартов безопасности, регулярный аудит, страхование киберрисков
Формальная цифровизация	Внедрение технологий без улучшения качества услуг	Внедрение клиентоцентричного подхода, мониторинг удовлетворённости граждан
Исключение уязвимых групп	Недоступность услуг для отдельных категорий граждан	Альтернативные каналы получения услуг, помощь в цифровой адаптации

Источник: составлено автором на основе [3, 8, 10].

Глубокий разрыв между регионами в уровне цифровизации создаёт репутационный «цифровой разрыв»: отстающие регионы воспринимаются как депрессивные и неэффективные. Как отмечает Д.О. Гулюкин, «критическими факторами отставания являются инфраструктурные ограничения и дефицит человеческого капитала. В регионах-аутсайдерах обеспеченность ИТ-специалистами в 4-5 раз ниже, чем в регионах-лидерах» [1]. Утечки персональных данных, сбои в работе государственных информационных систем, кибератаки наносят прямой ущерб репутации региональных органов власти. Особую тревогу вызывает риск «цифрового театра» – внедрения цифровых решений без реального улучшения качества услуг, что может привести к росту недовольства граждан и снижению доверия.

Разработанная технология управления репутационным капиталом региона в условиях цифровой трансформации включает семь последовательных этапов, адаптированных к специфике регионального управления на основе клиентоцентричного подхода.

Этап 1. Теоретическая подготовка. Определение понятийного аппарата, выбор критериев оценки, адаптация методологии к специфике региона. На данном этапе формируется перечень компонентов репутации региона с учётом отраслевых особенностей: экономическое развитие, социальная сфера, институциональная среда, технологический потенциал, экологическая ситуация.

Этап 2. Анализ региональной документации. Изучение стратегии социально-экономического развития региона, программ цифровой трансформации, дорожных карт внедрения клиентоцентричных стандартов, отчётов о реализации федеральных проектов.

Этап 3. Мониторинг цифровых коммуникаций. Анализ осуществляется по следующим направлениям:

– официальный сайт региона (анализ структуры, полноты и актуальности информации, удобства навигации, качества визуального контента);

– социальные сети (оценка активности региональных органов власти, анализ контент-стратегии, вовлечённости аудитории, оперативности ответов на вопросы);

– агрегаторы отзывов (контент-анализ отзывов на независимых платформах, анализ тональности высказываний, выделение ключевых проблемных зон);

– медийное присутствие (мониторинг упоминаний региона в СМИ, анализ тональности публикаций, оценка информационных поводов);

– работа единых контакт-центров (анализ коэффициента дозвона, уровня сервиса, индексов удовлетворённости граждан).

Этап 4. Социологический опрос стейкхолдеров. Проведение анкетирования с целью выявления степени удовлетворённости различными аспектами деятельности региональных органов власти. В опросе участвуют: жители региона, представители бизнес-сообщества, некоммерческих организаций, государственные служащие.

Этап 5. Анализ внешней среды. Проведение PEST-анализа и SWOT-анализа для выявления политических, экономических, социальных и технологических факторов, влияющих на репутацию региона. Оценка позиций в национальных рейтингах цифровой трансформации.

Этап 6. Приоритизация интересов стейкхолдеров. Выявление проблемных зон и точек роста, определение противоречий между ожиданиями различных групп стейкхолдеров, формирование перечня приоритетных направлений для укрепления репутации через реинжиниринг государственных услуг и внедрение клиентоцентричных подходов.

Этап 7. Оценка эффективности. Анализ коммуникативных, эмоциональных и экономических показателей проведённых мероприятий, мониторинг динамики рейтинговых позиций, анализ изменения показателей удовлетворённости стейкхолдеров.

На основе проведённого анализа можно выделить три взаимосвязанных механизма управления репутацией региона в условиях цифровой трансформации через внедрение клиентоцентричного подхода.

Механизм 1 – клиентоцентричная модель предоставления государственных услуг. Данный механизм предполагает переход от «ведомственной логики» к «логике жизненных ситуаций» граждан. Как показывает практика регионов-лидеров, реинжиниринг государственных услуг позволяет сократить сроки предоставления, количество требуемых документов и визитов в ведомства. В Ульяновской области оптимизированы 44 региональные услуги и сервиса, реализованы пять региональных жизненных ситуаций. В Новосибирской области завершён реинжиниринг 54% процессов. Реализация этого механизма требует: развития региональных порталов государственных услуг с интуитивно понятным интерфейсом; внедрения проактивного режима предоставления услуг; персонализации сервисов на основе анализа потребностей граждан.

Механизм 2 – развитие цифровых платформ обратной связи. Эффективная обратная связь выступает ключевым фактором формирования доверия. Как показывает опыт ЦУР, «скорость – это жизнь. Если раньше на официальный запрос ждали ответ 30 дней, то в соцсетях на жалобу нужно ответить за 3,5-5 часов» [7]. Наиболее успешной практикой является внедрение единых контакт-центров, как в Иркутской области, где функционирует «экосистема заботы о людях». Ключевые элементы механизма: интеграция каналов обратной связи (социальные сети, мессенджеры, порталы госуслуг, единый контакт-центр); внедрение систем автоматического распределения обращений; формирование культуры оперативного и содержательного ответа на обращения граждан; публичная отчётность о результатах работы с обращениями.

Механизм 3 – формирование экосистемы открытых данных и прозрачности. Прозрачность деятельности региональных органов власти выступает основой для формирования долгосрочного доверия. В рамках сервисной модели публичной власти цифровизация способствует росту доверия к институтам власти за счёт повышения прозрачности административных процессов. Этот механизм включает: публикацию в открытом доступе данных о бюджете региона, государственных закупках, реализации национальных и региональных проектов; обеспечение возможности общественного контроля за деятельностью органов власти с использованием цифровых инструментов; внедрение рейтингов цифровой зрелости и открытости муниципальных образований.

Выводы

В процессе исследования установлено, что цифровая трансформация государственного управления оказывает значительное влияние на репутацию региона, выступая как фактором роста доверия к региональным органам власти (при успешной реализации цифровых инициатив), так и источником репутационных рисков (при усилении цифрового неравенства, инцидентах информационной безопасности или формальном подходе к цифровизации).

Теоретический анализ позволил обосновать взаимосвязь между уровнем цифровой зрелости региона и его репутационным капиталом. Эмпирическое исследование на основе данных рейтингов цифровой трансформации субъектов РФ за 2024-2025 гг. выявило устойчивую корреляцию между эффективностью цифровизации и уровнем доверия граждан к региональной власти.

Выделены четыре основных канала влияния цифровизации на региональную репутацию: качество цифровых государственных услуг, прозрачность и открытость власти, обратная связь и диалог с гражданами, эффективность управления регионом. Показано, что регионы-лидеры цифровой трансформации успешно используют эти каналы для формирования устойчивого позитивного имиджа.

На основе анализа лучших практик предложены три взаимосвязанных механизма управления репутацией региона в условиях цифровой трансформации через внедрение клиентоцентричного подхода: внедрение клиентоцентричной модели предоставления государственных услуг через реинжиниринг сервисов и переход к логике жизненных ситуаций; развитие цифровых платформ обратной связи на основе единых контакт-центров и интеграции каналов коммуникации; формирование экосистемы открытых данных и прозрачности деятельности региональных органов власти.

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной технологии управления репутационным капиталом региона, учитывающей специфику цифровой среды и интегрирующей принципы клиентоцентричности. В отличие от существующих работ, предлагаемая технология включает не только анализ статичных элементов репутации, но и динамические параметры: скорость распространения информации, виральность контента, эмоциональный тон обратной связи, индексы удовлетворённости граждан.

Практическая значимость исследования заключается в том, что предложенная технология может быть адаптирована для любых регионов, стремящихся повысить свою конкурентоспособность в цифровой среде. Полученные результаты могут быть использованы руководителями региональных органов власти, управлениями по связям с общественностью и цифровой трансформации при разработке и реализации стратегий управления репутацией.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка методик автоматизированной оценки репутационных рисков регионов; изучение влияния цифровых следов на репутацию территорий; исследование взаимосвязи между корпоративной культурой региональных органов власти и их цифровой репутацией; анализ эффективности применения технологий искусственного интеллекта в мониторинге и управлении репутацией регионов.

Список литературы

1. Гулюкин, Д. О. Совершенствование механизмов цифровой трансформации государственного управления на региональном уровне: проблемы и перспективы // Siberian Journal of Economic and Business Studies. – 2025. – Т. 14. – № 4. – С. 63–90.

2. Vrabie C., E-Government and Integrity in Romania – Challenges of Digital Transformation and Public Trust // Student Papers on Smart Cities and E-Governance (SPoSC&EGOV) Repository. 2009. https://doi.org/10.2139/SSRN.2233349.

3. Султанова, Э. А. Цифровой менеджмент в региональной политике: барьеры и риски трансформации социально-экономических систем / Э. А. Султанова, М. А. Алиев // Журнал прикладных исследований. – 2026. – Спец. № 1. – С. 187–194. https://doi.org/10.26118/2096.2025.16.80.026.

4. Mangai M. S., Ayodele A. A. Reimagining Public Service Delivery: Digitalising Initiatives for Accountability and Efficiency // Administrative Sciences. – 2025. – Vol. 15. – Iss. 12. 477. https://doi.org/10.3390/admsci15120477.

5. Rosmala, Salman A. Public Trust Recovery: the Role of Digital Government Public Relations and AI-Assisted Crisis Communication // INJECT (Interdisciplinary Journal of Communication). – 2026. – Vol. 11, No. 1. – P. 227–248. https://doi.org/10.18326/inject.v11i1.6096.

6. Сахалинская область удостоена награды за первое место в рейтинге субъектов Российской Федерации по внедрению принципов и стандартов клиентоцентричности // Анива-Утро. 2024. 21 октября. – URL: https://aniva-utro.ru/news/vremya-mestnoe/2024-10-21/sahalinskaya-oblast-udostoena-nagrady-443898 (дата обращения: 17.08.2026).

7. Иркутская область – среди лучших по клиентоцентричности // Областная газета. 2026. 24 апреля. – URL: https://www.ogirk.ru/2026/04/24/irkutskaja-oblast-sredi-luchshih-po-klientocentrichnosti/ (дата обращения: 18.08.2026).

8. Ульяновская область вошла в пятёрку лучших регионов по внедрению стандартов клиентоцентричности // Многофункциональные центры Ульяновской области. 2024. 26 декабря. – URL: https://mfc.ulgov.ru/pages/news/004/finombudsman.ru?ELEMENT_ID=351908#1 (дата обращения: 17.08.2026).

9. Министерство экономического развития Новосибирской области в лидерах по реализации проекта «Государство для людей» в регионе // Министерство экономического развития Новосибирской области. 2025. 24 декабря. – URL: https://econom.nso.ru/news/5438 (дата обращения: 18.08.2026).

10. Какие регионы стали лучшими в рейтинге оказания цифровых госуслуг // Университет ИТМО. 2025. 17 сентября. – URL: https://news.egov.itmo.ru/25-09-17-622.html (дата обращения: 30.07.2026).

11. Государство в интернете: управление общественным мнением через контент и диалог // Казанский (Приволжский) федеральный университет. 2026. 27 марта. – URL: https://kpfu.ru/isfnmk/gosudarstvo-v-internete-upravlenie-obschestvennym.html (дата обращения: 29.07.2026).

УДК 619:004

ЕДИНОЕ ЦИФРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЕТЕРИНАРНОЙ СЛУЖБЫ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Классен А.К., старший специалист 1 разряда отдела инфекционных болезней животных и организации противоэпизоотических мероприятий Главного управления ветеринарии Кабинета Министров Республики Татарстан;
E-mail Nastya.Klassen@bk.ru;
Трофимова Е.Н., д.в.н., профессор кафедры «Ветеринарно-санитарная экспертиза и организация ветеринарного дела» ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: Alenatro@mail.ru

UNIFIED DIGITAL SPACE OF THE STATE VETERINARY SERVICE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Klassen A.K., senior Specialist (1st Class), Department of Animal Infectious Diseases and Organization of Anti-Epizootic Measures, Main Directorate of Veterinary Medicine of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan;
E-mail: Nastya.Klassen@bk.ru;
Trofimova E.N., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Veterinary-Sanitary Expertise and Organization of Veterinary Affairs Kazan State Agrarian University (Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education), Kazan, Russia;
E-mail: Alenatro@mail.ru

Аннотация

В условиях цифровой трансформации государственного управления особое значение приобретает интеграция информационных ресурсов, используемых в ветеринарной отрасли. На материалах Республики Татарстан рассмотрено, как ресурсы, применяемые государственной ветеринарной службой, объединяют учетные и отчетные процессы на районном, региональном и федеральном уровнях. Показано, что основу этого пространства составляет не единая платформа, а согласованная последовательность операций: от формирования первичных учётных записей в районных ветеринарных объединениях до их проверки и обобщения на региональном уровне и последующей передачи сводной отчётности в федеральные информационные системы. Выявлено, что функциональное разграничение между компонентами ФГИС «ВетИС» и региональными системами («БАРС.WEB – Мониторинг ветеринария», «Ветмонитор 2.0») обеспечивает преемственность информации, что позволяет избежать потери данных и снизить нагрузку на специалистов. Особое внимание уделено нормативной базе, которая задаёт единые правила работы с данными на всех уровнях. Сопоставлены назначение и нормативные основания использования компонентов ФГИС «ВетИС»: «Хорриот», «Веста», «Аргус», «Гален», «Сирано» и «Меркурий», а также систем «БАРС.WEB – Мониторинг ветеринария» и «Ветмонитор 2.0». Установлено, что целостность цифрового пространства обеспечивается последовательным формированием, проверкой, обобщением и передачей ветеринарных сведений между уровнями управления.

Ключевые слова: электронный ветеринарный документооборот, автоматизированные информационные системы в области ветеринарии, Республика Татарстан, ФГИС «ВетИС», «БАРС.WEB – Мониторинг ветеринария», «Ветмонитор 2.0»

Abstract

In the context of the digital transformation of public administration, the integration of information resources used in the veterinary sector is of particular importance. Based on materials from the Republic of Tatarstan, the study examines how the resources used by the state veterinary service integrate accounting and reporting processes at the district, regional, and federal levels. It is shown that the foundation of this space is not a single platform, but a coordinated sequence of operations: from the creation of primary accounting records in district veterinary associations to their verification and consolidation at the regional level and the subsequent transmission of consolidated reporting to federal information systems. It has been established that the functional differentiation between the components of the FSIS «VetIS» and regional systems («BARS.WEB – Veterinary Monitoring», «Vetmonitor 2.0») ensures the continuity of information, which helps to avoid data loss and reduce the workload on specialists. Special attention is paid to the regulatory framework, which sets uniform rules for working with data at all levels. The purpose and regulatory grounds for using the components of the FGIS «VetIS» are compared: «Horriot», «Vesta», «Argus», «Galen», «Sirano» and «Mercury», as well as the «BARS.WEB – Veterinary Monitoring» and «Vetmonitor 2.0» systems. It has been established that the consistent generation, verification, summarization and transmission of veterinary information between management levels ensure the integrity of the digital space.

Keywords: digital veterinary records, veterinary information systems, state veterinary service, the Republic of Tatarstan, FGIS «VetIS», «BARS.WEB – Veterinary Monitoring», «Vetmonitor 2.0»

Введение

Для государственной ветеринарной службы учетная информация является основой повседневных управленческих решений. Специалисты фиксируют сведения о маркировании и регистрации животных, оформляют ветеринарные сопроводительные документы, отражают результаты лабораторных исследований и выполненные профилактические, диагностические и иные мероприятия. По мере перехода этих операций в электронную среду их выполнение оказалось распределено между несколькими специализированными информационными системами.

В Российской Федерации роль центрального отраслевого ресурса выполняет федеральная государственная информационная система в области ветеринарии – ФГИС «ВетИС». Ее создание предусмотрено Законом Российской Федерации от 14.05.1993 № 4979-1 «О ветеринарии», а организационные требования к развитию и эксплуатации определены постановлением Правительства Российской Федерации от 07.11.2016 № 1140. Операторские функции возложены на Россельхознадзор; текущие сведения в систему вносят уполномоченные специалисты органов и учреждений государственной ветеринарной службы субъектов Российской Федерации [1, 3].

Федеральный информационный контур не исчерпывает все цифровые процессы отрасли. Субъекты Российской Федерации используют региональные решения, предназначенные для сбора, проверки и аналитической обработки сведений, необходимых их органам управления. Поэтому практическое значение имеет не только перечень применяемых программ, но и распределение функций между ними, а также маршрут движения данных от места их первоначального формирования до федерального уровня.

Отдельные элементы этой проблемы получили отражение в научных публикациях. А. Г. Хисамутдинов и соавторы исследовали выполнение законодательных требований к идентификации и учету животных в Республике Татарстан. А. Р. Гараев обобщил опыт применения компонентов ФГИС «ВетИС» и системы «БАРС.WEB – Мониторинг ветеринария» в республиканских государственных ветеринарных лабораториях. Вместе с тем в литературе преимущественно характеризуются отдельные цифровые инструменты, тогда как распределение информационных потоков в деятельности государственной ветеринарной службы региона требует самостоятельного рассмотрения [9, 10].

Цель исследования состояла в определении состава, нормативных оснований и функциональных связей автоматизированных информационных систем, применяемых государственной ветеринарной службой Республики Татарстан, а также в характеристике формируемого ими регионального цифрового пространства.

Материалы и методы

Исследование выполнено в 2024–2026 гг. Эмпирическую основу составили массивы электронного ветеринарного документооборота, учета и отчетности, сформированные в ФГИС «ВетИС», АИС «Ветмонитор 2.0» и системе «БАРС.WEB – Мониторинг ветеринария». Для оценки изменений использованы сведения за 2023–2026 гг.; показатели 2026 г. зафиксированы по состоянию на 27.08.2026 г.

Назначение цифровых ресурсов раскрывалось описательным методом, распределение задач между уровнями управления — путем сравнительного анализа. Динамические ряды оценивали аналитически, а связи между формированием, контролем и передачей сведений рассматривали с позиций системного подхода.

Результаты исследования

Организация цифрового обмена ветеринарными сведениями отражает установленное законодательством разграничение полномочий. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации формирует нормативные требования в области ветеринарии, тогда как на Россельхознадзор возложено осуществление федерального государственного ветеринарного контроля (надзора). Такое распределение определяет состав данных, участников их обработки и уровень, на котором сведения используются для принятия решений [4].

Базовые задачи ФГИС «ВетИС» закреплены в статье 4^{1} Закона Российской Федерации «О ветеринарии». Закон связывает применение системы с прослеживаемостью подконтрольных товаров, электронным оформлением ветеринарных сопроводительных документов и фиксацией результатов ветеринарно-санитарной экспертизы и лабораторных исследований. Тем самым нормативно определяется не программная архитектура, а круг информационных процессов, которые должны выполняться в общей цифровой среде. Соответствующие положения были введены Федеральным законом от 13.07.2015 № 243-ФЗ [1, 2].

Подзаконные акты конкретизируют отдельные этапы работы с данными. Постановление Правительства Российской Федерации от 07.11.2016 № 1140, действующее до 01.03.2028, регулирует создание, развитие и эксплуатацию ФГИС «ВетИС». Приказ Минсельхоза России от 13.05.2025 № 331 устанавливает правила передачи сведений в систему и их получения, а приказ от 13.12.2022 № 862 определяет организацию оформления ветеринарных сопроводительных документов. В результате компонент «Меркурий» выступает рабочей средой для формирования эВСД в электронном виде [3, 5, 6].

В Республике Татарстан первичная информация возникает непосредственно в районных и городских государственных ветеринарных объединениях. Их специалисты регистрируют животных, оформляют эВСД и отражают проведенные лабораторные, противоэпизоотические и иные мероприятия. Главное управление ветеринарии Кабинета Министров Республики Татарстан получает сведения от подведомственных учреждений, проверяет их и использует при формировании региональных показателей. Следовательно, единые правовые требования сочетаются с восходящим движением информации: от места выполнения ветеринарной операции – к региональному обобщению и далее к федеральным ресурсам.

Федеральная часть рассматриваемого цифрового пространства представлена несколькими компонентами ФГИС «ВетИС», каждый из которых обслуживает определенный участок ветеринарной деятельности:

– в компоненте «Хорриот» формируются записи об индивидуальных и групповых объектах учета, их владельцах и примененных средствах маркирования. Связывание этих сведений с данными о ветеринарных мероприятиях, включая вакцинации, позволяет прослеживать учетную историю животных и использовать накопленную информацию при оценке эпизоотической обстановки;

– «Веста» концентрирует сведения о лабораторных исследованиях подконтрольных товаров: принятых пробах, ходе испытаний и полученных результатах. Их хранение в структурированном виде обеспечивает последующее использование лабораторной информации при контроле безопасности продукции и анализе ветеринарно-санитарной ситуации;

– «Аргус» поддерживает разрешительные процедуры, связанные с перемещением подконтрольных грузов. Уполномоченный специалист рассматривает поступившую заявку, фиксирует решение и получает доступ к сведениям о ранее выданных разрешениях, ветеринарных сертификатах и сопутствующих документах;

– компонент «Гален» применяется при оформлении электронных рецептов на лекарственные препараты для ветеринарного применения. Одновременно в нем систематизируются сведения о зарегистрированных препаратах и кормовых добавках, необходимые для учета их обращения и мониторинга безопасности;

– «Сирано» предназначен для оперативного оповещения о выявленных подконтрольных грузах, представляющих опасность либо не отвечающих установленным требованиям. Информационный ресурс также используется для сопровождения действий, предпринимаемых при ликвидации эпизоотических очагов;

– в «Меркурии» регистрируются результаты ветеринарно-санитарной экспертизы подконтрольных товаров, оформляются электронные ветеринарные сопроводительные документы и прослеживается перемещение продукции по цепочке обращения.

Различия в назначении компонентов не исключают последовательного использования содержащихся в них данных. Сведения о зарегистрированных животных из «Хорриота» могут потребоваться при операциях в «Меркурии», а лабораторные результаты, отраженные в «Весте», – при подтверждении безопасности партии и оформлении эВСД. В данном случае взаимодействие следует понимать прежде всего как функциональную преемственность информации в рамках ветеринарного учета и документооборота; наличие автоматического обмена между каждой парой компонентов отдельно не предполагается.

Таблица 1

Динамика численности поголовья, зарегистрированного в компоненте «Хорриот» в Республике Татарстан за 2023-2025 гг. (фрагмент)

№	Вид животного	2023 гол.	2024 гол.	2025 гол.
1	Крупный рогатый скот	34 417	1 027 537	1 405 693
2	Свиньи	301 881	881 977	1 313 260
3	Лошади	373	30 423	36 621
4	Мелкий рогатый скот	3 937	206 943	295 328
5	Верблюды	-	13	92
6	Кролики	-	9 800	103 486
7	Олени	-	23	44
8	Домашняя птица	5 017 955	53 110 610	128 566 031
9	Пчелы (пчелосемьи)	-	-	94 041
10	Кошки	-	2	72
11	Собаки	1	234	61 388

Представленная динамика характеризует процесс пополнения компонента «Хорриот» сведениями об объектах ветеринарного учета. Изменение показателей связано не только с фактическим изменением численности поголовья, но и с поэтапным введением и реализацией требований к идентификации и регистрации животных, а также внесением соответствующих сведений в информационную систему.

Наиболее резкое изменение отмечено по собакам: после регистрации 234 животных в 2024 г. их количество в компоненте достигло 61 388 в 2025 г. Расширение учета совпало с введением региональных требований, основанных на Законе Республики Татарстан от 27.12.2019 № 120-ЗРТ и постановлении Кабинета Министров Республики Татарстан от 11.08.2023 № 971. Собака, рожденная у владельца, должна быть зарегистрирована не позднее достижения трехмесячного возраста; при приобретении животного в возрасте трех месяцев и старше срок составляет один месяц со дня приобретения [8].

Практическая процедура предоставления государственной услуги определена административным регламентом, утвержденным приказом Главного управления ветеринарии Кабинета Министров Республики Татарстан от 29.01.2025 № 10-од. В ходе регистрации сведения о животном и его владельце включаются в компонент «Хорриот», где формируется учетная запись собаки.

Исполнение обязанности обеспечивается мерами административной ответственности, установленными статьей 3.18 Кодекса Республики Татарстан об административных правонарушениях. Первичное нарушение требований к обязательной регистрации влечет предупреждение либо штраф для владельца в размере от 2 до 4 тыс. руб. Повторное нарушение, совершенное в течение года, наказывается штрафом в размере 5 тыс. руб.

Следовательно, увеличение показателя до 61 388 зарегистрированных собак нельзя трактовать только как изменение фактической численности животных. В первую очередь оно характеризует расширение охвата обязательной регистрацией и перенос ранее не отраженных сведений в цифровой реестр. Этот пример показывает прямое влияние правового требования на полноту информационной базы: установленная обязанность создает регулярный поток данных, которые государственная ветеринарная служба использует для идентификации животных и контроля проведенных мероприятий.

К 27.08.2026 количество оформленных документов превысило значения 2024 г. по каждой из трех форм. По форме № 3 (корма и кормовые добавки) оно изменилось с 134 265 до 207 710, или на 54,7%; по форме № 2 (мясо и мясопродукты) – с 70 540 до 110 064, или на 56,0%;

по форме № 1 (живые животные) – с 5 620 до 10 040, или на 78,6%. На объем оформления могли повлиять масштабы перемещения подконтрольных объектов и расширение их цифрового учета. Поскольку сведения за 2026 г. приведены не за полный календарный год, рассчитанные проценты характеризуют различие между накопленными объемами на указанные даты, а не годовой темп роста.

Таблица 2

Динамика количества оформленных ветеринарных свидетельств в компоненте «Меркурий» в Республике Татарстан за 2024-2026 гг. (2026 г. – по состоянию на 27.08) (фрагмент)

№	Форма ветеринарного свидетельства	2024 (шт)	2025 (шт)	2026 (шт)
1	Форма № 1 Живые животные	5 620	7 618	10 040
2	Форма № 2 Мясо и мясопродукты	70 540	86 646	110 064
3	Форма № 3 Корма и кормовые добавки	134 265	146 011	207 710

Для регионального обобщения сведений государственная ветеринарная служба использует информационно-аналитическую систему «БАРС.WEB – Мониторинг ветеринария». Она включена в работу учреждений Республики Татарстан с 2011 г. и позволяет собирать показатели по 43 муниципальным районам, проверять их и формировать аналитические выборки, необходимые Главному управлению ветеринарии [13].

Исходный массив для региональной отчетности создают специалисты районных и городских государственных ветеринарных объединений. В систему они вводят сведения о лечебно-профилактических, диагностических и противоэпизоотических мероприятиях, а также данные об обеспеченности учреждений лекарственными средствами.

После объединения районных сведений специалисты Главного управления ветеринарии оценивают выполнение запланированных мероприятий, рассчитывают охват животных и анализируют обеспеченность подведомственных учреждений материальными ресурсами.

Передача уже сформированной сводной отчетности на федеральный уровень осуществляется посредством АИС «Ветмонитор 2.0». Через нее утвержденные формы направляются в ФГБУ «Центр ветеринарии». Состав показателей и сроки их представления регламентированы приказом Минсельхоза России от 21.02.2022 № 89 [7].

Таким образом, «БАРС.WEB – Мониторинг ветеринария» и «Ветмонитор 2.0» выполняют последовательные, но не тождественные функции. Первая система обеспечивает накопление и обработку информации внутри субъекта, вторая служит каналом включения подготовленной региональной отчетности в федеральный информационный контур.

Распределение цифровых операций государственной ветеринарной службы Республики Татарстан между уровнями управления можно представить следующим образом:

1. Районные и городские ветеринарные объединения создают первичные записи в компонентах ФГИС «ВетИС» и отражают результаты своей работы в системе «БАРС.WEB – Мониторинг ветеринария»;

2. Главное управление ветеринарии на региональном уровне проверяет поступившие сведения, объединяет их и анализирует выполнение ветеринарных мероприятий;

3. На федеральном уровне оперативные данные используются в компонентах ФГИС «ВетИС», а подготовленные формы сводной отчетности передаются через АИС «Ветмонитор 2.0».

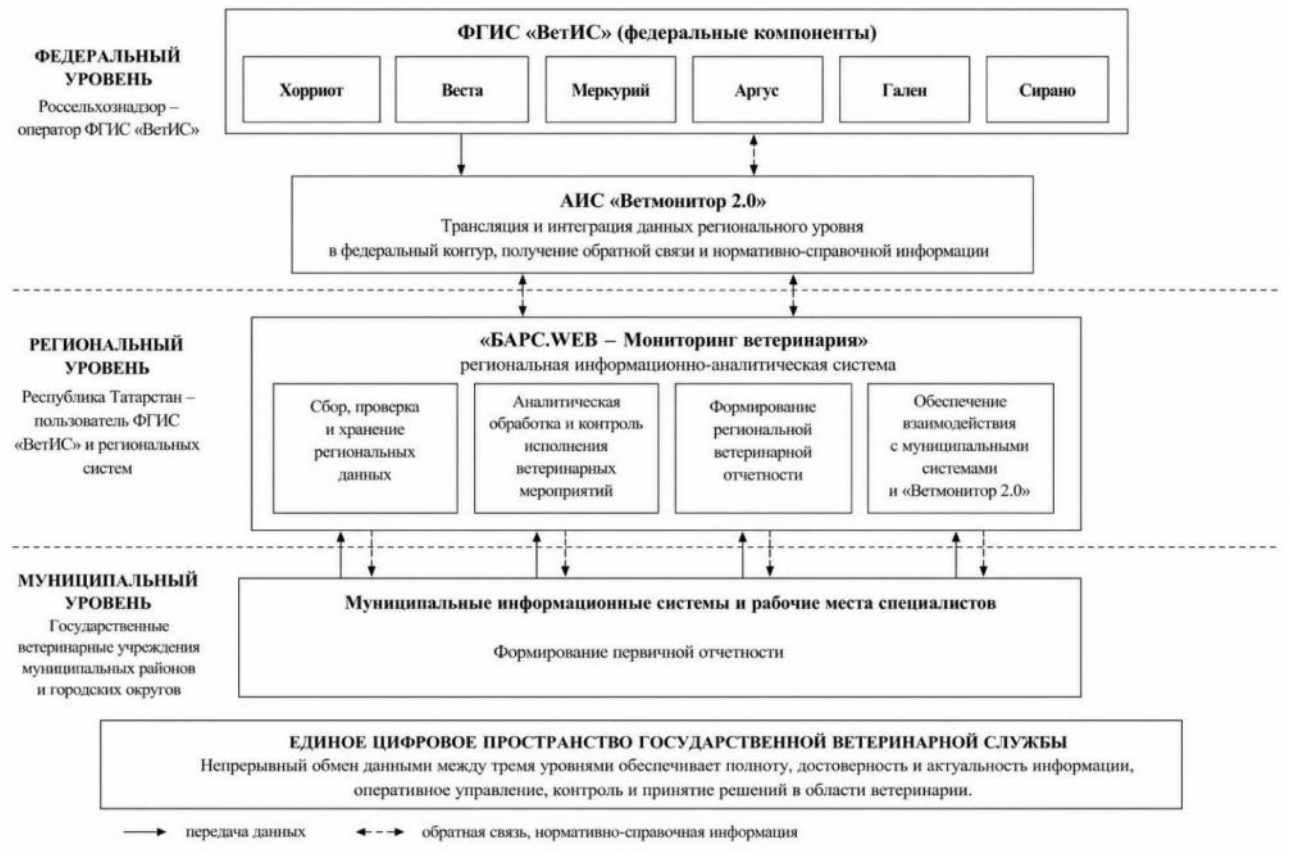


Рис. 1. Схема единого цифрового пространства государственной ветеринарной службы Республики Татарстан

Заключение

Проведенный анализ позволяет рассматривать единое цифровое пространство государственной ветеринарной службы Республики Татарстан не как одну информационную систему, а как организационно связанный контур нескольких ресурсов. На районном уровне возникают первичные записи о животных, подконтрольной продукции и выполненных мероприятиях; на региональном уровне они проверяются, объединяются и используются для аналитической оценки; федеральный уровень получает оперативные данные ФГИС «ВетИС» и сводную ветеринарную отчетность. Целостность этого контура определяется непрерывностью движения информации между участниками.

Динамика записей в компоненте «Хорриот» за 2023–2025 гг. свидетельствует прежде всего о расширении охвата объектов цифровым учетом. Особенно наглядно это проявилось при регистрации собак: введение обязательной процедуры сопровождалось многократным увеличением числа учетных записей. Следовательно, изменение объема базы отражает не только состояние поголовья, но и практическую реализацию нормативных требований.

Определяющим признаком сформированного пространства является преемственность информационного маршрута: сведения фиксируются по месту совершения ветеринарной операции, проходят региональный контроль и обобщение, после чего используются в федеральных системах. Именно согласованное распределение функций между цифровыми ресурсами обеспечивает единство ветеринарного учета и отчетности в масштабе региона.

Список литературы

1. Закон Российской Федерации от 14.05.1993 № 4979-1 «О ветеринарии».

2. Федеральный закон от 13.07.2015 № 243-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О ветеринарии» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 07.11.2016 № 1140 «О порядке создания, развития и эксплуатации федеральной государственной информационной системы в области ветеринарии».

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2004 № 327 «Об утверждении Положения о Федеральной службе по ветеринарному и фитосанитарному надзору».

5. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.05.2025 № 331 «Об утверждении Порядка представления информации в федеральную государственную информационную систему в области ветеринарии и получения информации из нее» (зарегистрирован в Минюсте России 02.06.2025 № 82506).

6. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2022 № 862 «Об утверждении Ветеринарных правил организации работы по оформлению ветеринарных сопроводительных документов, Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов в электронной форме и Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов на бумажных носителях» (зарегистрирован в Минюсте России 24.01.2023 № 72116).

7. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 21.02.2022 № 89 «О Регламенте предоставления информации в систему государственного информационного обеспечения в сфере сельского хозяйства».

8. Закон Республики Татарстан от 27.12.2019 № 120-ЗРТ «О регулировании отдельных вопросов в области обращения с животными в Республике Татарстан».

9. Хисамутдинов, А. Г. Реализация требований Закона Российской Федерации «О ветеринарии» в сфере идентификации и учета животных в Республике Татарстан / А. Г. Хисамутдинов, Е. Н. Трофимова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2023. – Т. 256, № 4. – С. 292-300.

10. Гараев, А. Р. Опыт реализации автоматизированных систем в государственных ветеринарных лабораториях Республики Татарстан / А. Р. Гараев // Ветеринарный врач. – 2024. – № 6. – С. 27-33. – DOI: 10.33632/1998-698X_2024_6_27.

УДК 004.89:608.3

МОНИТОРИНГ ДИФФУЗИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: МЕТОДОЛОГИЯ КАЛИБРУЕМЫХ ПРОГНОЗОВ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ РЕЕСТРОВ

Лукманов Р.А., к.ф.-м.н., доцент, заместитель директора Института анализа данных и искусственного интеллекта, Университет Иннополис, г. Казань;
Абдрахманова М.В., заместитель генерального директора по управлению программами ФГБУ «Дирекция научно-технических программ», г. Москва, Россия

MONITORING AI DIFFUSION: A METHODOLOGY FOR CALIBRATED FORECASTING FROM OPEN REGISTRIES

Lukmanov R.A., PhD, Associate Professor, Deputy director, Institute of Data Science and Artificial Intelligence, Innopolis University, Kazan;
Abdrakhmanova M.V., Deputy Director General for Program Management FGBU «Directorate of State Scientific and Technical Programmes», Moscow, Russia

Аннотация

В настоящей работе показано, что для мониторинга развития технологий искусственного интеллекта достаточно открытых российских и зарубежных данных. Предложенная ме-

тодология измеряет скорость диффузии искусственного интеллекта путём сопоставления трёх информационных контуров: научных публикаций, регистрируемого программного обеспечения и патентных заявок. Эмпирическую базу составили 55 906 материалов, поданных на международную конференцию ICLR (International Conference on Learning Representations) в 2017–2026 годах; открытый реестр изобретений Роспатента, содержащий 861 915 записей; а также единый реестр российского программного обеспечения объёмом 32 116 позиций. В качестве внешнего ориентира использован массив из 541 216 заявок Патентного ведомства США с отметками об отнесении к категории искусственного интеллекта. Каждый контур описывается единообразно: через долю тематических записей в годовом потоке и модель распространения. Результаты анализа свидетельствуют, что технологический шок конца 2022 года достигал контуров последовательно, с маленькой задержкой. В работе также представлен прогноз развития технологии до 2030 года, построенный посредством моделирования выявленных тенденций.

Ключевые слова: искусственный интеллект; открытые данные; патентная аналитика; реестр российского программного обеспечения; мониторинг технологий; логистическая модель; калибровка прогнозов; технологический суверенитет; региональная статистика

Abstract

This contribution demonstrates that open data, both Russian and international, suffice for technology monitoring and proposes a methodology that measures the speed at which AI-related signals propagate through systems of record. Three data sources are examined: 55,906 submissions to the International Conference on Learning Representations (ICLR) from 2017 to 2026; the open register of inventions maintained by Rospatent, containing 861,915 records; and the unified registry of Russian software with 32,116 entries. As an external benchmark, 541,216 United States patent applications with artificial-intelligence features are utilized. Each circuit is described uniformly: through the share of thematic records in the annual flow and a corresponding diffusion model. The analysis reveals that the generative shock of late 2022 reached the circuits sequentially, with short lag times closely corresponding to administrative processing durations. The paper also presents forecasts through 2030 based on modeling of observed trends in the data.

Keywords: artificial intelligence; open data; patent analytics; Russian software registry; technology monitoring; logistic model; forecast calibration; technological sovereignty; regional statistics

Введение

Открытый реестр изобретений Роспатента за период 2021–2025 годов содержит 234 заявки, в названии которых упоминается искусственный интеллект. За тот же период правообладатели внесли в единый реестр российского программного обеспечения (далее – Реестр российского ПО) 1250 продуктов с официальной отметкой об использовании технологий искусственного интеллекта. Таким образом, одна и та же технология отражается в двух государственных системах учёта с пятикратным расхождением в количестве регистраций.

Развитие искусственного интеллекта отнесено к числу национальных приоритетов [1], однако эффективное управление таким приоритетом предполагает его систематическое измерение. При этом доступ к коммерческим патентным базам данных в последние годы существенно сократился. Наблюдаемый пятикратный разрыв указывает на необходимость учёта скорости, с которой различные системы фиксируют технологические изменения, прежде чем делать выводы об уровне развития технологии на основании абсолютных показателей.

Гипотеза настоящего исследования состоит в том, что технологии искусственного интеллекта последовательно оставляют след в трёх системах учёта: сначала в научных публикациях, затем в Реестре российского ПО и, наконец, в патентных заявках. В дальнейшем каждая из этих систем именуется контуром и измеряется единообразно – через долю тематических записей в годовом потоке и моделируемую кривую роста.

Существующие подходы к анализу, как правило, ограничиваются одним контуром. Патентная аналитика ведомственного уровня опирается на закрытые массивы данных с рефератами и классификационными кодами [2]; наукометрические исследования описывают развитие поля постфактум [3]; международные наборы данных о патентовании в области искусственного интеллекта базируются на моделях, обученных на полных текстах заявок [4]. Однако вопрос о временных задержках и о скорости проникновения, с которыми различные контуры отражают одно и то же событие, до настоящего времени не получил систематического освещения. Между тем, именно эти факторы создают существенное противоречие: управленческие решения нередко принимаются на основании данных одного контура, тогда как расхождения между контурами могут быть существенными.

Настоящая работа предлагает унифицированную схему измерения контуров. В рамках исследования проверяются три гипотезы. Первая: контуры реагируют на технологические изменения последовательно, причём величина запаздывания определяется длительностью соответствующей административной процедуры. Вторая: доли тематических записей возрастают по S-образной кривой с выходом на уровень насыщения, что позволяет применять для их описания логистические модели. Третья: поиск по названиям публикаций, программных продуктов и патентов обеспечивает адекватную аппроксимацию уровня активности в области искусственного интеллекта на различных контурах.

1. Методология исследования

В работе использованы три открытых источника данных, характеристики которых представлены в таблице 1. Научный контур измеряется по материалам, представленным на Международную конференцию по обучению представлениям (International Conference on Learning Representations, ICLR). Выбор данной конференции обусловлен её статусом одной из ведущих мировых площадок в области машинного обучения. При этом ICLR в настоящем исследовании выступает преимущественно как индикатор глобального технологического фронтира, инновационные волны которого впоследствии, с определённой задержкой, диффундируют в прикладные российские контуры, например, в реестр программного обеспечения и патентный реестр.

Реестр изобретений выгружен с портала открытых данных Роспатента [5]; выгрузка реестра программ осуществлена через штатную форму экспорта [6]; массив заявок с признаками искусственного интеллекта, поданных в патентное ведомство США [4], получен из опубликованного архива данных.

Таблица 1

Источники данных

Источник	Объём	Период
Подачи на конференцию ICLR [3]	55 906 статей	2017–2026
Реестр изобретений Роспатента [5]	861 915 записей	выгрузка 18.08.2026
Реестр российского ПО [6]	32 116 записей	2016–2026*
Заявки ведомства США с признаками ИИ [4]	541 216 заявок	2007–2023

**Примечание: данные за 2026 год являются неполными и используются исключительно для анализа текущих тенденций, без прямого сопоставления с полными годовыми срезами.*

Критерии отнесения объектов к сфере искусственного интеллекта различаются по контурам. Изобретение классифицируется как относящееся к ИИ при наличии в его названии следующих терминов: «нейросеть», «нейросетевой», «нейронная сеть», «машинное обучение», «глубокое обучение» или «искусственный интеллект». В отношении реестра программного обеспечения используется не поиск по названию, а официальная отметка правообладателя

о применении технологий ИИ. Тематические волны в научном контуре размечены по названиям, аннотациям и ключевым словам с выделением следующих направлений: большие языковые модели; механизмы рассуждения в языковых моделях (включая совместное рассуждение с языковой моделью и цепочки рассуждений на этапе инференса); автономные и мультиагентные системы. Семантическая близость тем верифицирована посредством векторных представлений многоязычной модели [3, 7]. Географическая принадлежность заявителя определена по адресу обозначенном в заявке. Регион успешно идентифицирован для 74,2% всех заявок и для 193 из 234 изобретений в области ИИ.

Ограничения метода поиска по названиям были количественно оценены. Поскольку открытая версия реестра изобретений не содержит ни рефератов, ни классификационных кодов, получаемые оценки заведомо занижены: расширенный словарь позволяет выявить 477 изобретений в области ИИ против 234, обнаруживаемых узким словарём. Величину такого занижения можно оценить по реестру программного обеспечения: из 1250 продуктов с официальной отметкой 1060 (85%) не содержат в названии ни одного профильного термина, а точность поиска по названиям относительно официальной отметки составляет 54,8%.

Для описания долей тематических записей применена логистическая, или S-образная, кривая насыщения (1):

$$p(t) = \frac{L}{1+e^{-k(t-t_0)}}, \quad (1)$$

где $p(t)$ обозначает долю темы в потоке года t, L – потолок насыщения, принятый равным 50 %, поскольку ни одна тема за историю конференции не превышала 42 %, k – скорость роста, t_0 – год перегиба. Число изобретений и записей реестра описано пуассоновской регрессией, доля ИИ в заявках биномиальной моделью, разброс оценок бутстрапом из тысячи перевыборок. Каждая модель проверена на прошлом: видит данные только до контрольного года, а её ошибка сравнивается с фактом (табл. 2).

Таблица 2

Ретроспективная проверка моделей

Модель	Обучение	Тест	Ошибка
Логистическая: агентная волна	до 2024	2025–2026	2,4 п. п.
Логистическая: языковая волна	до 2024	2025–2026	7,5 п. п.
Логистическая: волна рассуждения	до 2024	2025–2026	5,5 п. п.
Пуассоновская: ИИ-изобретения	2016–2022	2023	41,7 (изобретений, прогноз) против 41 (факт)
Пуассоновская: ИИ-изобретения	2016–2022	2024	43,9 (изобретений, прогноз) против 74 (факт)

Коэффициент избыточного разброса оценён по Пирсону (2):

$$\hat{\varphi} = \frac{1}{n-p}\sum_{i=1}^{n}\frac{(y_i-\hat{\mu}_i)^2}{\hat{\mu}_i} \quad (2)$$

где y_i обозначает фактическое значение, μ_i – модельное, n – число наблюдений, p – число параметров. Интервал счётных моделей расширен корнем из этого коэффициента, интервал долей конформной поправкой по ошибкам прошлых прогнозов (3):

$$\hat{p}_{T+h} \pm q_{0,9}(|e_1|, \ldots, |e_m|) \quad (3)$$

где $q_{0.9}$ обозначает девяностый процентиль модуля ошибки ретроспективных проверок.

2. Результаты исследования

2.1. Три скорости реакции на технологический шок 2022 года

Анализ показал, что три контура отреагировали на появление больших языковых моделей в конце 2022 г. последовательно (рис. 1). Наиболее оперативным оказался научный контур: доля работ, посвящённых языковым моделям, возросла с 1,08% в 2022 г. до 3,11% в 2023 г. и достигла 18,39% в 2024 г. Реестр программного обеспечения продемонстрировал скачок в 3,8 раза уже в 2023 г.: с 50 до 189 новых записей. Тут нужно отметить, что вероятно ранний отклик в реестре ПО обусловлен стимуляцией импортозамещения зарубежного ПО. Патентный контур отреагировал удвоением числа изобретений лишь в 2024 г.: с 41 до 74. Выявленная последовательность отклика соответствует первой гипотезе исследования, а масштаб наблюдаемых изменений согласуется с данными мировой статистики [8].



Рис. 1. Реакция трёх контуров учёта на шок конца 2022 года

Величина временного запаздывания оказалась сопоставимой с длительностью соответствующих административных процедур. Медианный срок включения программы в Реестр российского ПО составил 37 дней в 2024–2025 годах по сравнению со 115 днями в 2018 г. Период от подачи заявки до регистрации изобретения составляет в среднем 9,8 месяца для всех заявок и 12 месяцев для изобретений в области ИИ. Для сравнения, в США аналогичный показатель приближается к 29 месяцам. Таким образом, удвоение заявок на патенты в 2024 г. достаточно хорошо отмечает рост заявок в начале 2023 г.

Американские данные [4] позволяют датировать реакцию с точностью до квартала: в трёх кварталах, предшествовавших выходу первых широкодоступных языковых моделей, доля заявок с языковой функцией стабильно находилась на уровне 15,6–15,7%; в квартале выхода продукта она возросла до 17,3%, а к концу 2023 г. достигла 20,6%. Следует также отметить альтернативное объяснение выявленных закономерностей: различия в сроках реакции могут определяться не только административными процедурами, но и объективными различиями в циклах подготовки публикаций и патентных заявок. Кроме того, три контура представляют собой лишь три наблюдения, что не позволяет делать однозначные выводы о причинно-следственных связях.

2.2. Научный контур: экспоненциальный рост и последовательность тематических волн

Научный контур демонстрирует экспоненциальный рост без признаков насыщения. Объём потока материалов на платформе OpenReview возрос с 489 работ в 2017 г. до 19 793

в 2026 г., что соответствует среднему темпу прироста 50,9% в год, причём за последний год рост составил 69,7%. Сравнение моделей показывает, что экспоненциальная зависимость обеспечивает существенно лучшее качество аппроксимации по сравнению с S-образной кривой, что свидетельствует об отсутствии признаков приближения к насыщению. Согласно базовому сценарию, к 2030 г. поток достигнет 85 тысяч работ в год, а по консервативному сценарию – 48 тысяч.

Тематические волны развиваются последовательно, причём порядок их прохождения хорошо виден при анализе по единому пороговому значению (рис. 2). Волна языковых моделей преодолела порог в 5% от общего числа подач в 2023 г. и достигла 41,9% в 2026 г. Механизмы рассуждения прошли тот же порог в 2025 г., увеличив свою долю с 0,12% в 2022 г. до 18,3%. Агентные системы возросли с 0,18% в 2023 г. до 4,68% в 2026 г., что соответствует двадцатишестикратному росту за три года, однако порога в 5% пока не достигли. Модель предсказывает, что по итогам 2029 г. доля работ по агентным системам составит не менее 10%. К 2030 г. центральная траектория прогнозирует значение 37% при доверительном интервале от 9,5 до 41,1%. Примечательно, что ретроспективные проверки наиболее точно описывают именно эту, самую молодую волну (табл. 2), поскольку её траектория находится на участке интенсивного роста, где модель демонстрирует наибольшую устойчивость. Таким образом, наша модель предсказывает что мы находимся еще достаточно рано внутри агентной волны и траектория модели проецирует минимум 4 года экстенсивного роста данной тематики публикаций.



Рис. 2. Волны тем конференции ICLR и прогноз агентной волны до 2030 г.

2.3. Медленный контур: патентование изобретений

Российский патентный контур демонстрирует рост, однако остаётся относительно немногочисленным. Поток изобретений в области ИИ увеличивается в среднем на 10,3% в год согласно тренду 2016–2024 гг. К 2030 г. базовый сценарий прогнозирует 102 изобретения, выявленных по названиям, при доверительном интервале от 46 до 221 (табл. 3). Доля ИИ в общем потоке заявок составляла 0,42% в 2024 г. и, согласно прогнозу, достигнет 0,9% к 2030 г. (рис. 3), при этом отметка в 1% будет преодолена центральной траекторией приблизительно в 2031 г. Анализ состава заявителей позволяет объяснить, почему патентный контур остаётся немногочисленным. Среди 234 изобретений в области ИИ на коммерческие организации приходится 41,0% против 34,1% по всем изобретениям; на университеты и научно-исследовательские институты – 29,9% против 40,9%. Особого внимания заслуживает отсутствие совместного патен-

тования: ни одно из 234 изобретений в области ИИ не находится в совместной собственности университетов и коммерческих организаций, тогда как по всем изобретениям такие патенты составляют 0,7%. Данный результат свидетельствует об отсутствии устойчивых научно-производственных связей в исследуемой предметной области. Также обращает на себя внимание сезонная неравномерность: на декабрь приходится 12,1% годовых заявок вместо ожидаемых 8,3%.

Технологическое развитие концентрируется в отраслях, располагающих значительными массивами данных. При сравнении периодов 2016–2020 и 2021–2025 гг. интенсивность патентования возросла в транспортной отрасли с 0,1 до 3,8 изобретений в области ИИ на 1000 заявок, в медицине – с 1,8 до 3,6, в отрасли связи – с 0,4 до 3,2. В то же время в металлургии за пять лет не было выявлено ни одного изобретения в области ИИ при 790 заявках. Отраслевую концентрацию генеративного патентования подтверждают и международные обзоры [9], а статистика ведомства в целом согласуется с приведёнными оценками [10].

2.4. Быстрый контур: реестр программного обеспечения

Реестр программного обеспечения демонстрирует наиболее высокие темпы роста среди всех рассматриваемых контуров и, следовательно, может служить опережающим индикатором. Число новых записей с отметкой об использовании ИИ возрастало в среднем на 47,1% в год в период 2016–2025 гг. К 2030 г. модель прогнозирует 2286 записей при доверительном интервале от 1105 до 4730. Доля таких записей увеличится с 5,2% в 2025 г. до 15,9% к 2030 г. при интервале от 6,1 до 27,0% (рис. 3), причём порог в 10% будет преодолён в 2028 г., а порог в 15% – в 2030 г. Неполные данные за 2026 г. уже показывают значение 8,5%, что соответствует 236 записям из 2781.

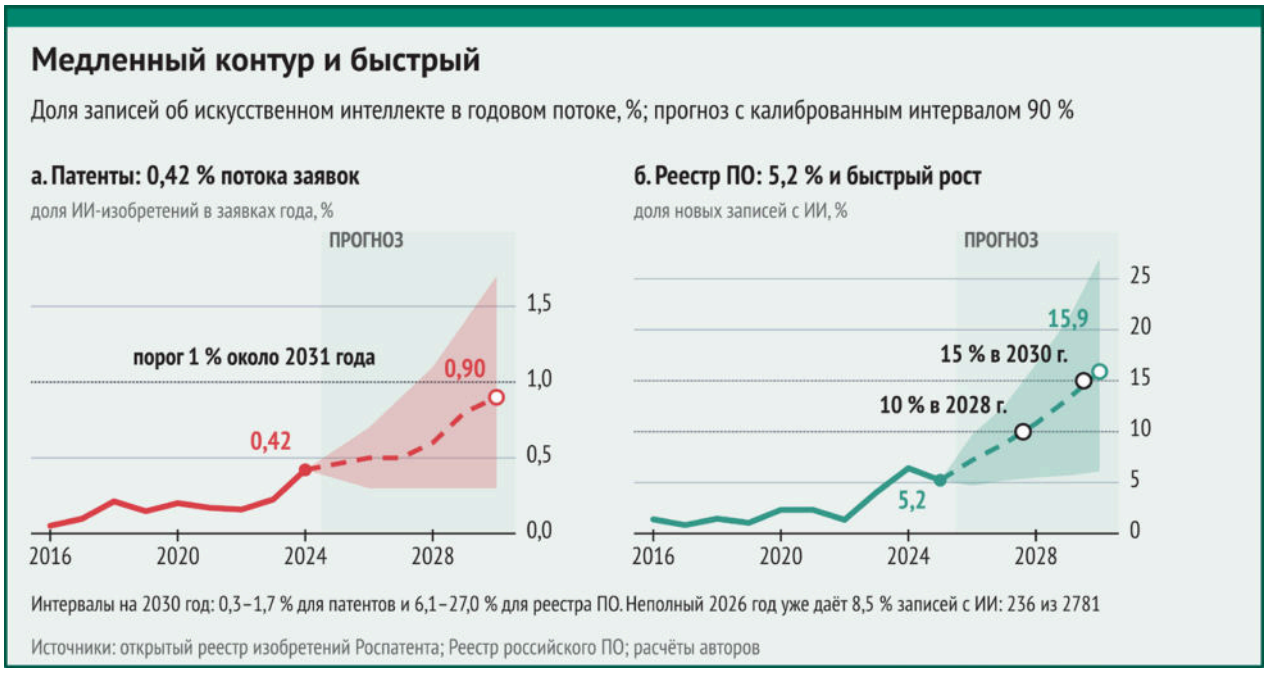


Рис. 3. Доля ИИ в патентном потоке и в реестре ПО

Важным преимуществом оценки по реестру программного обеспечения является её независимость от словарного поиска: принадлежность к сфере ИИ декларируется самим правообладателем. При этом 93,1% записей принадлежат коммерческим организациям, что обеспечивает репрезентативность выборки для анализа активности бизнеса.

2.5. Региональный срез: ограничения патентной статистики для ранжирования

За период 2021–2025 годов применение узкого словаря для поиска позволяет выявить 234 изобретения в области ИИ при общем числе 87 425 заявок, что соответствует интен-

сивности – 2,7 на тысячу заявок. Узкий словарь – это поиск ключевых слов только в названии изобретения (например, искусственн* интеллект, нейросет*, машинн* обучени*, всего 6 комбинаций). На Москву приходится 32,5% всех заявок и 126 патентов в области ИИ, то есть 4,4 на тысячу. Республика Татарстан обеспечивает 4,1% заявок в области ИИ и интенсивности 1,4 (рис. 4).

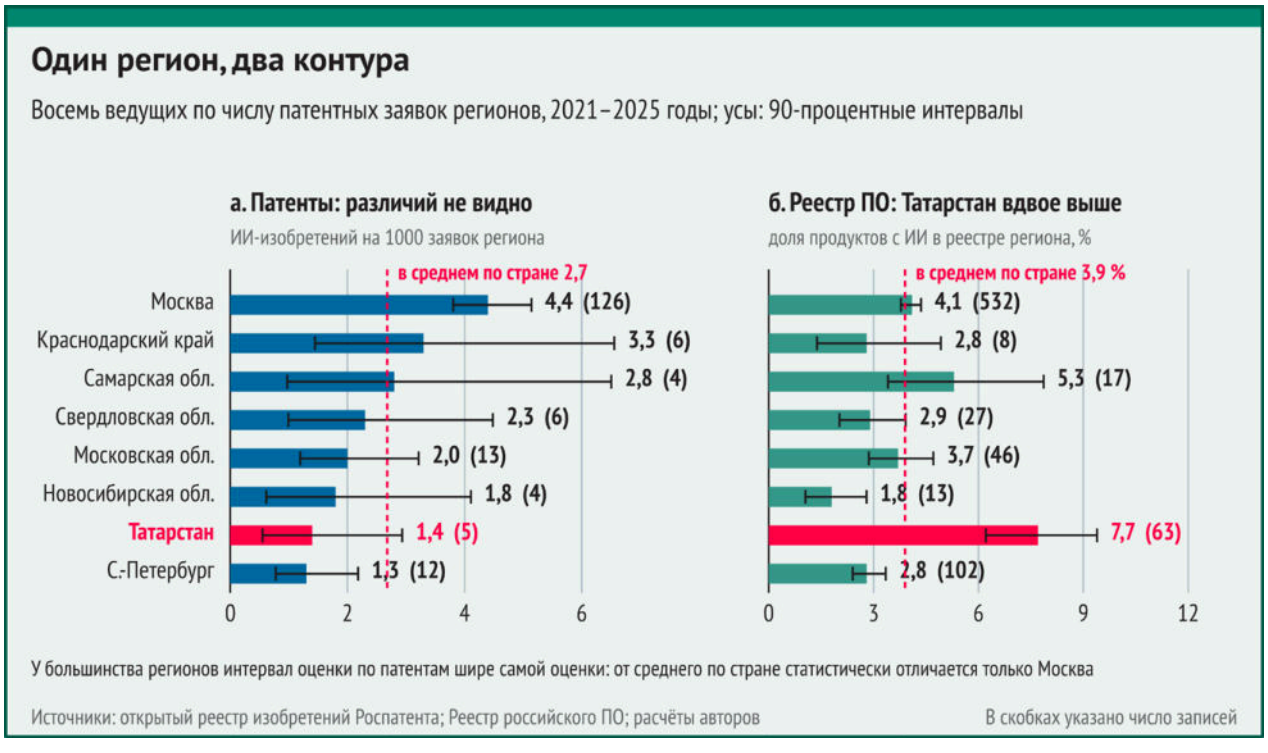


Рис. 4. Два контура в регионах: ИИ-изобретения и ИИ-продукты

Интерпретация такого рейтинга требует существенных оговорок, что наглядно демонстрирует левая панель рис. 4. В большинстве регионов число патентов в области ИИ исчисляется единицами (по результатам выборки узким словарем), вследствие чего доверительный интервал оценки оказывается шире самой точечной оценки. Так, для Краснодарского края интервал составляет от 1,4 до 6,6 при точечной оценке 3,3. Такие интервалы накрывают среднероссийское значение 2,7, что означает отсутствие статистически значимых различий со средним уровнем. Единственным регионом, демонстрирующим надёжное отличие, является Москва: 4,4 при интервале от 3,8 до 5,1. Таким образом, разрешающей способности патентного контура недостаточно для корректного ранжирования регионов, как минимум в нашем подходе через фильтрацию по узким определениям ИИ для выборки.

Реестр программного обеспечения обеспечивает значительно более уверенную дифференциацию регионов благодаря существенно большему объёму данных. У правообладателей Республики Татарстан зарегистрировано 820 программных продуктов, из которых 63 отмечены как относящиеся к сфере ИИ, что составляет 7,7% при доверительном интервале от 6,2 до 9,4% против 3,9% в среднем по стране. Это различие является статистически значимым. Примечательно, что до 2023 года таких продуктов в регионе не регистрировалось, после чего последовательно появлялось 13, 18, 16 и ещё 16 продуктов за восемь месяцев 2026 г. Крупнейшим правообладателем выступает Университет Иннополис с 29 программными продуктами в области ИИ. При этом патенты республики отражают специфическую региональную повестку: диагностика насосного оборудования, беспилотный транспорт, нейрохирургия. Таким образом, регион закрепляет результаты технологического развития в альтернативном контуре учёта.

2.6. Ограничения

Рассматриваемые контуры отражают различные объекты права: включение в Реестр российского ПО сводится преимущественно к проверке комплектности документов, тогда как регистрация изобретения требует проведения экспертизы по существу. Следовательно, сопоставление 37 дней и 12 месяцев корректно не как мера трудоёмкости процедур, а как характеристика длительности обратной связи. Источники данных также обладают определённой смещённостью. Материалы, представляемые на конференцию ICLR, тяготеют к фундаментальным темам; данные за 2025 год по патентам являются неполными; американские данные доступны лишь по 2023 год включительно. Счётные модели систематически недооценивают фазу интенсивного роста, а расширение доверительных интервалов компенсирует это лишь частично: применяемые поправки учитывают величину прошлых ошибок, но не способны предсказать момент будущего структурного перелома.

Отдельного рассмотрения заслуживает проблема потенциального завышения оценок в «быстром контуре» (Реестр российского ПО), связанная с рисками самодекларирования ИИ решений. Включение продукта в реестр предоставляет правообладателям существенные преференции в госзакупках а также дает льготу покупателям. Это создаёт стимулы для добавления метки «ИИ» в регистрируемое ПО. Данный фактор может приводить к завышению доли ИИ-продуктов в реестре по сравнению с реальной технологической активностью, что необходимо учитывать при интерпретации полученных результатов.

Таблица 3

Прогноз на 2030 г. с калиброванными интервалами

Показатель	Факт	Прогноз 2030	Интервал
Доля агентных систем в ICLR, %	4,68 (2026)	37	9,5–41,1
Подачи ICLR, тыс. в год	19,8 (2026)	85	48–125
ИИ-изобретения России за год, по названиям	74 (2024)	102	46–221
Доля ИИ в потоке заявок, %	0,42 (2024)	0,9	0,3–1,7
Новых ИИ-записей реестра ПО	280 (2025)	2286	1105–4730
Доля записей с ИИ в реестре ПО, %	5,2 (2025)	15,9	6,1–27,0

Заключение

Настоящее исследование демонстрирует, что все три контура учёта – наука, реестр программного обеспечения и патентование, реагируют на технологический шок конца 2022 г. синхронным ростом, однако с существенно разными масштабами и скоростью реакции. Научный контур демонстрирует экспоненциальный рост без признаков насыщения: поток материалов на конференцию ICLR увеличивается в среднем на 50% в год, а агентная волна, только начинающая рост, находится на ранней стадии диффузии из научного контура в коммерческий. Реестр программного обеспечения обеспечивает наиболее оперативную фиксацию технологической активности. Патентный контур растёт медленно, но устойчиво, формируя консервативный нижний предел, за которым скрывается ещё более масштабное внедрение искусственного интеллекта. Методологически работа показывает, что на основе открытых данных можно строить фальсифицируемые прогнозы с калиброванными доверительными интервалами. Предложенная схема закладывает фундамент для непрерывного мониторинга технологического развития, а её масштабирование на полезные модели и программы для ЭВМ, где объём данных на порядок выше, позволит повысить временное разрешение и, возможно, добавит детализацию в конкретные направления внутри технологии искусственного интеллекта.

Список литературы

1. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации : Указ Президента Рос. Федерации от 10 окт. 2019 г. № 490 : (в ред. от 15 февр. 2024 г.) // Собрание законодательства Рос. Федерации. – 2019. – № 41. – Ст. 5700. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731.
2. Ена, О. В. Методология разработки патентных ландшафтов проектного офиса ФИПС / О. В. Ена, Н. В. Попов // Станкоинструмент. – 2019. – № 1 (14). – С. 28–35. – DOI 10.22184/2499-9407.2019.14.01.28.35.
3. González-Márquez, R. Learning representations of learning representations / R. González-Márquez, D. Kobak // Data-centric Machine Learning Research (DMLR) Workshop at ICLR 2024. – 2024. – URL: https://arxiv.org/abs/2404.08403.
4. Chen, M. A. Displacement versus augmentation: the effects of AI on employment dynamics and firm value / M. A. Chen, J. Wang. – 2026. – 114 p. – URL: https://ssrn.com/abstract=5246388.
5. Открытый реестр изобретений Российской Федерации : набор открытых данных / Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – Москва, 2026. – URL: https://rospatent.gov.ru/opendata/.
6. Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных / Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Рос. Федерации. – Москва, 2026. – URL: https://reestr.digital.gov.ru.
7. Multilingual E5 text embeddings: a technical report / L. Wang, N. Yang, X. Huang [et al.]. – 2024. – URL: https://arxiv.org/abs/2402.05672.
8. AI Index Report 2025 / N. Maslej, L. Fattorini, R. Perrault [et al.] ; Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. – Stanford, 2025. – 456 p. – URL: https://hai.stanford.edu/ai-index.
9. Patent landscape report: generative artificial intelligence. – Geneva : World Intellectual Property Organization, 2024. – 116 p. – ISBN 978-92-805-3649-2. – DOI 10.34667/tind.49740.
10. Годовой отчёт Федеральной службы по интеллектуальной собственности за 2024 год / под ред. Ю. С. Зубова, О. П. Неретина. – Москва : ФИПС, 2025. – 196 с. – ISBN 978-5-907602-29-8.

УДК 332.1:004

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ РЕГИОНОВ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА КАК ИНДИКАТОР РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ «УМНЫЙ РЕГИОН»

Насрединова М.А., старший научный сотрудник ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-0277-3255

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF DIGITAL MATURITY OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT REGIONS AS AN INDICATOR OF «SMART REGION» CONCEPT IMPLEMENTATION

Nasredinova M.A., Senior Researcher, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-0277-3255

Аннотация

Статья посвящена оценке уровня цифровой зрелости семи регионов Приволжского федерального округа (ПФО) как ключевого индикатора реализации концепции «умного региона». Цель работы – на основе авторской методики интегрального индексирования выявить

межрегиональные различия в уровне цифрового развития и сформулировать рекомендации по его повышению с опорой на зарубежный опыт. Методику образуют индексный метод, формулы нормирования прямой и обратной связи, метод средней арифметической простой. Индекс уровня цифровой зрелости формируется по четырем блокам: «Уровень развития связи и ее доступность», «Цифровая зрелость организаций», «Уровень цифровизации домохозяйств и населения» и «Уровень цифровизации отраслей социальной направленности». Временной горизонт – 2020–2024 гг.; эмпирической базой служат данные Росстат. По итогам расчетов, в 2024 г. лидером по интегральному индексу цифровой зрелости признана Нижегородская область (0,653), второй результат – у Оренбургской области (0,632), аутсайдером является Республика Мордовия (0,316). Выявлены системные проблемы: снижение цифровой активности организаций в большинстве регионов, критически низкий охват домохозяйств в Кировской области и Республике Марий Эл, стагнация в социально ориентированных отраслях. Рекомендации, вытекающие из результатов анализа, структурированы с опорой на модели Республики Корея (единые технологические стандарты, регуляторные «песочницы» для Интернета вещей и искусственного интеллекта) и Сингапура («Smart Nation 2.0»: цифровая инклюзия населения, акселерация отраслевой цифровизации). Актуальность обращения именно к этим странам обусловлена стратегическим курсом России на укрепление партнерства с Азиатско-Тихоокеанским регионом.

Ключевые слова: умный регион, цифровая зрелость, интегральный индекс, Приволжский федеральный округ, цифровизация, Интернет вещей, искусственный интеллект, Республика Корея, Сингапур

Abstract

The article is devoted to assessing the level of digital maturity of seven regions of the Volga Federal District as a key indicator of the implementation of the "smart region" concept. The purpose of the work is to identify interregional differences in the level of digital development based on the author's method of integral indexing and formulate recommendations for its improvement based on foreign experience. The methodology is formed by the index method, the forward and feedback normalization formulas, and the simple arithmetic mean method. The digital maturity index is formed into four blocks: "The level of communication development and accessibility", "Digital maturity of organizations", "The level of digitalization of households and the population" and "The level of digitalization of social sectors". The time horizon is 2020-2024; the empirical base is Rosstat data. According to the results of calculations in 2024, the Nizhny Novgorod Region was recognized as the leader in the integrated digital maturity index (0.653), the second result was in the Orenburg Region (0.632), the Republic of Mordovia is the outsider (0.316). Systemic problems have been identified: a decrease in the digital activity of organizations in most regions, critically low household coverage in the Kirov Region and the Republic of Mari El, stagnation in socially oriented industries. The recommendations resulting from the results of the analysis are structured based on the models of the Republic of Korea (unified technological standards, regulatory "sandboxes" for the Internet of Things and artificial intelligence) and Singapore ("Smart Nation 2.0": digital inclusion of the population, acceleration of industry digitalization). The relevance of addressing these countries is determined by Russia's strategic course towards strengthening its partnership with the Asia-Pacific region.

Keywords: smart region, digital maturity, composite index, Volga Federal District, digitalization, Internet of Things, artificial intelligence, South Korea, Singapore

Введение

В условиях глобальной технологической конкуренции цифровая трансформация территорий перестала быть исключительно технической задачей и превратилась в стратегический инструмент управления региональным развитием. Одним из концептуальных ответов на этот вызов стала концепция «Умный регион», являющаяся территориальной системой, повышаю-

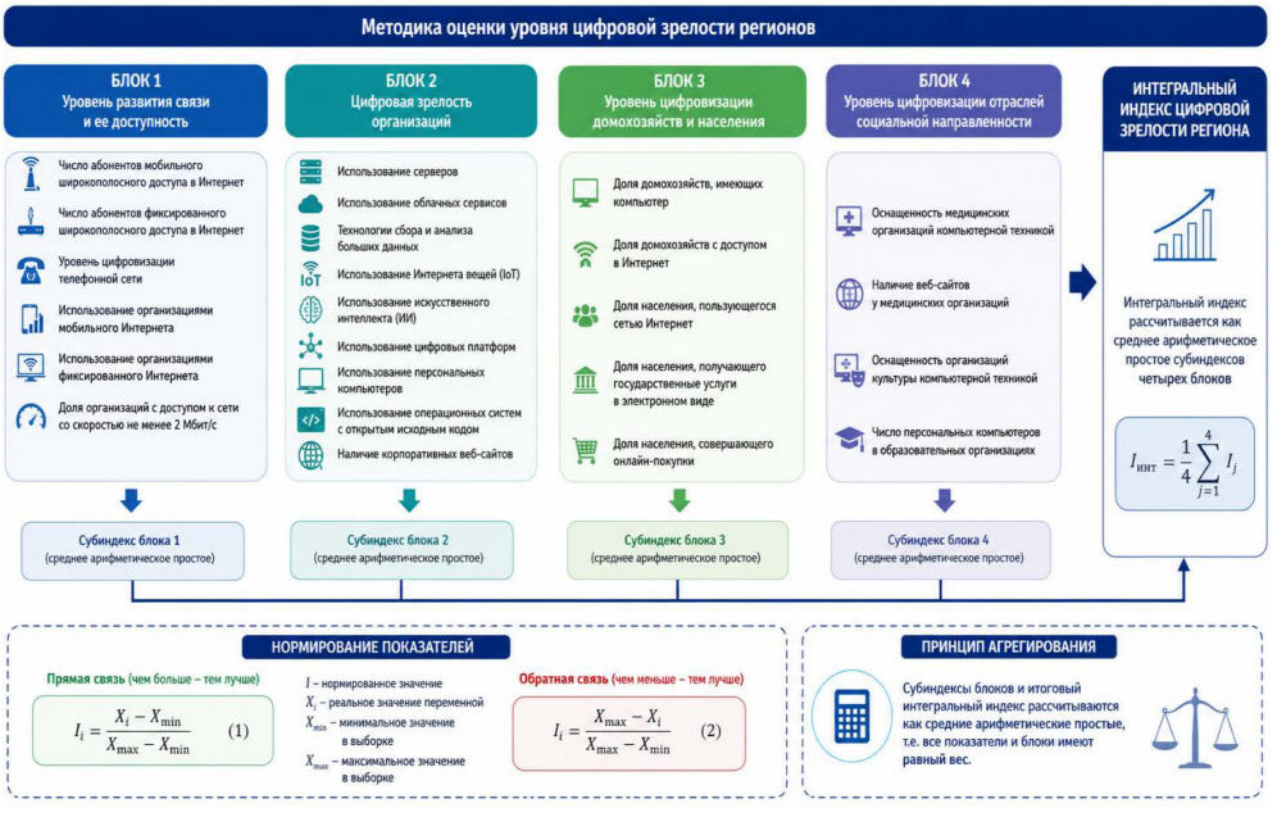
щей устойчивость, конкурентоспособность и качество жизни посредством стратегического использования цифровых технологий [1]. Успешное воплощение этой концепции зависит от уровня цифровой зрелости, под которым понимается глубина и качество внедрения цифровых инструментов в ключевые бизнес-процессы и систему управления.

Оценка цифровой зрелости выступает значимым индикатором реализации концепции «Умный регион», поскольку именно данный показатель включен в перечень из 21 критерия оценки эффективности деятельности высших должностных лиц субъектов Российской Федерации (Указ Президента РФ от 28.11.2024 № 1014). Это институционально закрепляет связь между результатами цифровизации и качеством регионального управления.

Цель настоящей статьи – на основе авторской методики интегрального индексирования оценить уровень цифровой зрелости семи регионов ПФО и разработать рекомендации по его повышению, опираясь на релевантный зарубежный опыт.

Методика

Для оценки уровня цифровой зрелости регионов применена авторская методика, в основе которой лежит расчет интегрального индекса по четырем блокам показателей. Методика расчета представлена на рис. 1.



Источник: составлено автором.

Рис. 1. Авторская методика оценки уровня цифровой зрелости регионов

На основе представленной методики интегральный индекс цифровой зрелости региона формируется путем усреднения субиндексов четырех ключевых блоков от развития связи до цифровизации социальной сферы. При этом нормирование отдельных показателей учитывает тип их связи с целевым результатом. Для параметров «чем больше – тем лучше» применяется прямая формула, а для обратных зависимостей – инвертированная.

Временной горизонт – 2020–2024 гг. В качестве эмпирической базы использованы данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат) – материалы мониторинга развития информационного общества, результаты обследования в сфере ИКТ, а также сбор-

ники социально-экономических показателей регионов России за 2021-2025 годы [2]. Анализ проведен на примере семи регионов Приволжского Федерального округа: Республики Татарстан, Нижегородской области, Оренбургской области, Пермского края, Кировской области, Республики Марий Эл и Республики Мордовия.

Основная часть

Концепция «умного региона» оформилась как надмуниципальное расширение идеи «Умного города». Согласно определению Sinkienė J. и Grumadaitė K., «Умный регион» – это территория, которая эффективно задействует человеческий потенциал, инновации, знания и технологии, опираясь на благоприятную институциональную и политическую среду [3]. Согласно трактовке Gorelova I., Bellini F. и D'Ascenzo F., территориальная система, которую можно назвать «Умным регионом», добивается повышения устойчивости, конкурентоспособности и качества жизни благодаря продуманному использованию цифровых технологий, инноваций, гибких управленческих подходов, а также ресурсов человеческого и социального капитала [1]. Ключевым операциональным измерением реализации данной концепции выступает цифровая зрелость – показатель, закрепленный в России как национальный ориентир Указом Президента РФ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» [4].

По мнению отечественных исследователей Стрябковой Е.А. и Лыщиковой Ю.В., суть «Умного региона» заключается в том, чтобы перенести и адаптировать механизмы и решения, присущие «умному городу», на более широкий – региональный – уровень развития [5; 6]. В свою очередь, для оценки достигнутого уровня этого масштабирования необходим комплексный инструментарий – интегральный индекс, агрегирующий разнородные показатели в единую сопоставимую метрику.

Перейдем к расчету интегрального индекса уровня цифровой зрелости регионов. Из блока 1 «Уровень развития связи и ее доступность» более подробно рассмотрим показатель уровня цифровизации местной телефонной сети. Стабильно высокий уровень цифровизации местной телефонной сети (1,00) демонстрируют Республика Татарстан, Республика Марий Эл и Оренбургская область. Это указывает на полный или практически полный переход местной телефонной сети на цифровые технологии в 2020-2024 годах. Промежуточную динамику показывают Республика Мордовия (постепенное снижение), Кировская область (колебание со снижением и частичным восстановлением), Нижегородская область (устойчивое падение). Стабильно низкий уровень зафиксирован в Пермском крае: значение 0,00 во всех рассматриваемых годах, кроме 2023 года (незначительное повышение до 0,02), что указывает на практически полное отсутствие цифровизации местной телефонной сети.

В табл. 1 отражена динамика значений субиндексов блока 1 по исследуемым регионам ПФО.

Таблица 1

Динамика значений субиндексов блока 1 «Уровень развития связи и ее доступность» в 2020–2024 гг.

Регион	2020	2021	2022	2023	2024
Нижегородская область	0,821	0,829	0,523	0,741	0,700
Республика Татарстан	0,858	0,738	0,423	0,672	0,647
Оренбургская область	0,620	0,712	0,573	0,733	0,594
Пермский край	0,397	0,509	0,389	0,546	0,487
Республика Марий Эл	0,451	0,478	0,355	0,400	0,420
Кировская область	0,402	0,386	0,514	0,347	0,347
Республика Мордовия	0,168	0,193	0,225	0,182	0,159

Источник: составлено автором на основе данных Росстат.

По субиндексу блока 1 «Уровень развития связи и ее доступность» в 2024 г. лидируют Нижегородская область (0,700) и Республика Татарстан (0,647). На протяжении всего периода 2020–2024 гг. Нижегородская область удерживает наибольший охват мобильным широкополосным Интернетом (индекс 1,00 во все годы, кроме 2022-го), а Татарстан – фиксированным (индекс 1,00). Устойчивым аутсайдером является Республика Мордовия: субиндекс блока снизился с 0,168 (2020) до 0,159 (2024). Кировская область также демонстрирует отрицательную динамику – с 0,402 до 0,347.

Из блока 2 «Цифровая зрелость организаций» детальнее рассмотрим показатель доли организаций, использовавших персональные компьютеры. Наиболее благополучными регионами данному показателю являются Оренбургская область (стабильный максимум с 2021 г.) и Нижегородская область (хоть и снижающиеся, но высокие значения). Пермский край демонстрирует наиболее уверенный положительный тренд. Наиболее проблемная ситуация сложилась в Республике Мордовия (нулевые значения) и в Кировской области (низкий уровень). Несмотря на высокий старт в 2020 г., Республика Татарстан к 2024 г. значительно сдала позиции, что может свидетельствовать либо о проблемах с обновлением данных, либо о реальном сокращении использования ПК в организациях.

Табл. 2 демонстрирует динамику значений субиндексов для блока 2 в изучаемых регионах ПФО.

Таблица 2

Динамика значений субиндексов блока 2 «Цифровая зрелость организаций» в 2020–2024 гг.

Регион	2020	2021	2022	2023	2024
Нижегородская область	0,729	0,713	0,773	0,802	0,784
Пермский край	0,704	0,820	0,785	0,803	0,774
Республика Марий Эл	0,365	0,621	0,500	0,519	0,617
Оренбургская область	0,550	0,725	0,571	0,704	0,547
Республика Татарстан	0,693	0,776	0,410	0,401	0,230
Кировская область	0,135	0,189	0,182	0,212	0,227
Республика Мордовия	0,072	0,029	0,044	0,060	0,131

Источник: составлено автором на основе данных Росстат.

Значения показателей блока 2 в целом демонстрируют наиболее острые различия между регионами. Лидируют Нижегородская область (0,784 в 2024 г.) и Пермский край (0,774). Особого внимания заслуживает динамика двух «передовых» технологий – Интернета вещей и искусственного интеллекта. По IoT бессменным лидером является Пермский край (индекс 1,00 во все годы наблюдения), тогда как Кировская область и Республика Мордовия практически не используют данные технологии (0,00–0,06). По ИИ с 2022 г. лидирует Республика Марий Эл (индекс 1,00), однако Республика Татарстан к 2024 г. утратила все достижения и также обнулила показатель. Критическая проблема – обвальное падение субиндекса блока у Татарстана: с 0,776 в 2021 году до 0,230 в 2024 г.

При рассмотрении блока 3 «Уровень цифровизации домохозяйств и населения» обратимся к показателям, позволяющим оценить уровень цифровизации населения: доля населения, пользующегося Интернетом, использовавшего Интернет для получения государственных и муниципальных услуг и приобретавшего товары (услуги) через Интернет. Регионы сильно дифференцированы. Республика Татарстан стабильно лидирует по получению госуслуг он-

лайн (1,00) и занимает высокие позиции по показателю приобретения населением товаров (услуг) через Интернет (в последние годы – 0,76 – 1,00), однако важно подчеркнуть снижение показателя использования Интернета населением в 2024 г. в 2 раза. Оренбургская область – лидер по доле населения, пользующегося Интернетом и по онлайн-покупкам (1,00 в 2024 г.), но по госуслугам является регионом-середнячком с колебаниями. К субъектам с наиболее низкими значениями относятся Республика Марий Эл, Кировская область и Республика Мордовия. Умеренный рост по госуслугам и онлайн-покупкам показывает Нижегородская область, а Пермский край имеет стабильно средние показатели. Общей тенденцией является отсутствие устойчивого прогресса.

Динамика значений субиндексов блока 3 в исследуемых регионах ПФО представлена в табл. 3.

Таблица 3

Динамика значений субиндексов блока 3 «Уровень цифровизации домохозяйств и населения» в 2020–2024 гг.

Регион	2020	2021	2022	2023	2024
Республика Татарстан	0,842	0,808	1,000	1,000	0,851
Оренбургская область	0,786	0,957	0,794	0,587	0,792
Нижегородская область	0,547	0,570	0,426	0,398	0,535
Пермский край	0,529	0,486	0,560	0,537	0,506
Республика Мордовия	0,037	0,145	0,003	0,269	0,283
Республика Марий Эл	0,095	0,042	0,124	0,263	0,282
Кировская область	0,449	0,454	0,311	0,133	0,196

Источник: составлено автором на основе данных Росстат.

В рамках блока 3 по цифровизации домохозяйств и населения абсолютный и устойчивый лидер – Республика Татарстан (субиндекс достиг максимума 1,000 в 2022–2023 гг., в 2024 г. – 0,851). Это объясняется в том числе наиболее высокой долей домохозяйств с компьютером и интернет-доступом в выборке. Второй результат – у Оренбургской области (0,792), хотя ее динамика носит волатильный характер. Наиболее тревожная ситуация – в Кировской области: субиндекс упал с 0,449 в 2020 г. до 0,196 в 2024 г. С 2023 г. индекс доступа домохозяйств к Интернету в этом регионе равен нулю. Республика Марий Эл и Республика Мордовия также формируют группу аутсайдеров (0,282 и 0,283 соответственно), хотя обе показывают умеренный рост с крайне низкой базы.

В рамках блока 4 «Цифровизация отраслей социальной направленности» более подробно проанализируем сферу культуры. В данной сфере по использованию мобильного Интернета лидируют Республика Татарстан (1,00 в 2024 г.) и Республика Марий Эл (0,97 в 2024 г.). При этом для первого региона характерна довольно низкая доля учреждений с веб-сайтами (0,39 в 2024 г.). По наличию веб-сайтов высокие позиции занимают Оренбургская область (1,00), Нижегородская область (0,70) и Пермский край (0,82). Кировская область находится в среднем диапазоне (в 2024 г. 0,70 по использованию мобильного Интернета и 0,45 по наличию веб-сайтов). Наиболее проблемным регионом является Республика Мордовия (доля культурных учреждений, использовавших мобильный Интернет, выросла только к 2024 году с 0,00 до 0,47, а субиндекс показателя наличия веб-сайтов все 5 лет держался на нуле).

Изменения значений субиндексов блока 4 в рассматриваемых регионах ПФО в динамике представлены в табл. 4.

Таблица 4

Субиндексы блока 4 «Уровень цифровизации отраслей социальной направленности» в 2020–2024 гг.

Регион	2020	2021	2022	2023	2024
Кировская область	0,542	0,555	0,497	0,699	0,728
Нижегородская область	0,618	0,478	0,540	0,556	0,594
Республика Мордовия	0,432	0,545	0,467	0,560	0,690
Республика Татарстан	0,580	0,524	0,485	0,548	0,607
Оренбургская область	0,508	0,498	0,537	0,485	0,506
Пермский край	0,434	0,374	0,578	0,537	0,477
Республика Марий Эл	0,380	0,336	0,367	0,344	0,381

Источник: составлено автором на основе данных Росстат.

Блок 4 демонстрирует нетипичную картину: регионы-аутсайдеры по предыдущим блокам здесь показывают лидирующие результаты. Кировская область занимает первое место в 2024 г. (0,728), а Республика Мордовия – третье (0,690), опережая традиционных лидеров. Наименее благоприятная ситуация зафиксирована в Республике Марий Эл (0,381), где ключевым фактором выступает практически полное отсутствие онлайн-ресурсов у медицинских учреждений (0,00–0,13).

Агрегирование субиндексов четырех блоков позволило построить график динамики интегрального индекса уровня цифровой зрелости изучаемых регионов (рис. 2).



Источник: составлено автором.

Рис. 2. Динамика значений интегрального индекса уровня цифровой зрелости в 2020–2024 гг.

Принципиально важная динамическая тенденция: лидерская группа нестабильна. Республика Татарстан, занимавшая первое место в 2020 и 2023 гг. (индекс 0,743 и 0,680 соответственно), к 2024 г. опустилась на третью строку прежде всего из-за обвала субиндекса цифровой зрелости организаций. Напротив, Республика Мордовия, несмотря на хронически низкие позиции в итоговом рейтинге, демонстрирует устойчивый прогресс по ряду частных показателей блоков 3 и 4.

В рамках внешнеэкономической политики РФ взаимодействие с Азиатско-Тихоокеанским регионом (АТР) выступает стратегическим приоритетом, о чем свидетельствует рост товарооборота и инвестиционного сотрудничества. Наибольшую ценность для российских регионов представляют модели «умных государств» Республики Корея и Сингапура – лидеров цифровой трансформации.

Корейская модель (нацпортал smartcity.go.kr) базируется на централизованной координации единых технологических стандартов и масштабировании проверенных решений через национальную платформу. Пилотные площадки (Седжон, Пусан) с «регуляторными песочницами» позволяют тестировать технологии (IoT, ИИ) в реальных условиях [7]. Это релевантно как для регионов-лидеров через создание пилотных зон для апробации технологий, так и для отстающих регионов через внедрение готовых решений без разработки собственной архитектуры. Кроме того, модель важна для стандартизации инфраструктуры связи (критично для Кировской области и Республики Мордовия в рамках блока 1).

Сингапурская модель («Smart Nation 2.0», запущена 1 октября 2024 г.) строится вокруг трех целей: доверие (Trust), рост (Growth), сообщество (Community). Акцент делается на социально значимой цифровизации, учитывающей влияние технологий на граждан [8]. Применение данной модели может способствовать повышению уровня цифровизации домохозяйств (блок 3), особенно в регионах с высокой долей аграрного и пожилого населения (Марий Эл, Мордовия, Кировская область). Также сингапурский подход подчеркивает важность отраслевой цифровизации здравоохранения, образования и культуры (блок 4), что актуально для Республики Марий Эл с низкими показателями в этих сферах.

Выводы

По результатам оценки уровня цифровой зрелости семи регионов ПФО методом интегрального индексирования в 2024 г. установлено, что лидирует Нижегородская область, второе место занимает Оренбургская область, а аутсайдером остается Республика Мордовия. При этом рейтинг демонстрирует нестабильность. Республика Татарстан, возглавлявшая список в 2020 и 2023 гг., опустилась на третье место из-за резкого снижения субиндекса цифровой зрелости организаций. Анализ по блокам выявил три ключевые проблемы: слабое и неравномерное внедрение IoT и ИИ в организациях, критически низкую цифровую доступность домохозяйств в Кировской области и Республике Марий Эл, а также стагнацию цифровизации социально значимых отраслей в Республике Марий Эл. Для устранения этих проблем рекомендованы модели стран АТР: корейская система регуляторных «песочниц» и единых технологических стандартов и сингапурская программа «Smart Nation 2.0» с акцентом на цифровую инклюзию и отраслевую цифровизацию.

Список литературы

1. Gorelova, I. Understanding smart territories: A conceptual framework [Text: electronic] / I. Gorelova, F. Bellini, F. D'Ascenzo // Cities. – Volume 152. – 2024. – P. 1-13. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275124003603 (date of request: 15.01.2026).

2. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения: 15.04.2026).

3. Sinkienė, J. Conceptual Model of Smart Region [Text: electronic] / J. Sinkienė, K. Grumadaitė // Public Policy and Administration. – 2014. – Vol. 13. – № 3. – P. 414-426. – URL: https://ojs.mruni.eu/ojs/public-policy-and-administration/article/view/3961/3718 (date of request: 15.01.2026).

4. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: [указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474] [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357927/ (дата обращения: 15.12.2025).

5. Стрябкова, Е. А. От «Умного города» – к «Умному региону»: эволюция концепта или новая парадигма развития [Текст: электронный] / Е. А. Стрябкова, Ю. В. Лыщикова // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2018. – Т. 8, № 12А. – С. 248-255. – EDN HAOZOQ. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37334576 (дата обращения: 15.01.2026).

6. Лыщикова, Ю. В. Механизмы институционализации и имплементации концепции «умный регион» в управлении устойчивым пространственным развитием территорий [Текст: электронный] / Ю. В. Лыщикова // Экономика. Информатика. – 2021. – №2. – С. 229-242. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizmy-institutsionalizatsii-i-implementatsii-kontseptsii-umnyy-region-v-upravlenii-ustoychivym-prostranstvennym-razvitiem (дата обращения: 15.01.2026).

7. Smart City Comprehensive Portal [Electronic resource] // Smart City Korea. Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. – URL: https://smartcity.go.kr/en/ (date of request: 30.04.2026).

8. Launch of Smart Nation 2 [Electronic resource] // Ministry of Digital Development and Information, Singapore. – 2024. – October, 1st. – URL: https://www.mddi.gov.sg/newsroom/smart-nation-2-press-release/ (date of request: 30.04.2026).

9. Насрединова, М. А. Система управления реализацией концепции «умного региона» в субъектах Российской Федерации и возможности ее совершенствования: выпускная квалификационная работа / М. А. Насрединова // Казанский (Приволжский) федеральный университет. – 2026. – 200 с.

УДК 340

К ВОПРОСУ О ТЕХНОЛОГИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ МАШИНОЧИТАЕМОГО ПРАВА

Осипов М.Ю., к.ю.н., АНО ВО «Международная полицейская академия», г. Тула, Россия;
ORCID: 0000-0002-6982-3668

ABOUT THE QUESTIONS OF TECHNOLOGIES FOR THE FORMATION OF MACHINE-READABLE LAW

Osipov M.Y., Candidate of Legal Science, International Police Academy, Tula, Russia;
ORCID: 0000-0002-6982-3668

Аннотация

Статья посвящена вопросам разработки и реализации технологий формирования машиночитаемого права. Цель исследования заключается в том, чтобы определить технологии формирования машиночитаемого права, а также их основных составляющих. В статье делается вывод о том, что под технологиями формирования машиночитаемого права следует понимать систему действий, комбинаций и операций, которые направлены на создание машиночитаемого права. При этом само «машиночитаемое право» представляет собой особым образом структурированную базу данных, которая содержит юридически значимую информацию. Также в статье рассмотрены особенности структурирования юридически значимой информации, в том числе при помощи UML диаграмм, которые могут быть использованы для формирования машиночитаемого права, а также основные факторы, которые могут повлиять на формирование машиночитаемого права.

Ключевые слова: право, цифровые технологии, машиночитаемое право, база данных, UML диаграммы, технологии формирования, разметка нормативных актов, субъективные права, юридические обязанности, нарушения, оценка эффективности

Abstract

The article examines the development and implementation of technologies for the formation of machine-readable law. The purpose of this study is to identify technologies for the formation of machine-readable law, as well as their main components. The article concludes that technologies for the formation of machine-readable law should be understood as actions, combinations, and operations aimed at creating machine-readable law. Furthermore, "machine-readable law" itself is a specially structured database containing legally significant information. The article also examines the specifics of structuring legally significant information, including using UML diagrams that can be used to form machine-readable law, as well as the main factors that can influence the formation of machine-readable law.…

Keywords: law, digital technologies, machine-readable law, database, UML diagrams, formation technologies, markup of regulatory acts, subjective rights, legal obligations, violations, performance evaluation

Введение

Проблема формирования «машиночитаемого права» – это одна из актуальных проблем, стоящих перед современной юридической наукой. Необходимо отметить, что данной проблеме посвящено немало работ, как в отечественной, так и в зарубежной юридической литературе. Так в работе Е. Н. Агибаловой, Т. В. Высогурской «отмечается, что «автоматизированное право обеспечит эффективный процесс правоприменения, упрощения множества процедур, сокращения расходов, улучшение юридической техники, т.е. огромную экономию ресурсов и совершенствование всей системы права в целом» [1, с. 36]. В работе Головкина, Р. Б. Кузьмина И.М. отмечается, что «машиночитаемое право может пониматься в трех смыслах. Во-первых, машиночитаемое право – это (набор правил) программа, существующая в форме цифрового кода, основанная на духе закона, порождающая и обеспечивающая реализацию буквы закона. Во-вторых, машиночитаемое право – алгоритм обработки цифровой информации о содержании правовых норм, основанный на принципах формальной логики и позволяющий автоматизировать отдельные этапы процесса реализации права. В-третьих, машиночитаемое право – это современный тренд цифрового развития правового регулирования, непосредственно связанный с прогрессом в области цифровых и иных современных технологий» [2, с. 124]. В работе Ковалевой Н.Н. «отмечается необходимость перехода к машиночитаемому праву в целях снижения административных барьеров» [4, с. 159]. В работе Козыревой А.Б. и Кадиевой М.Ф. «отмечается, что внедрение технологий машиночитаемого права позволит оптимизировать деятельность российских органов государственной власти, освободить человеческие ресурсы от необходимости выполнения рутинных и технических задач» [5, с. 412]. В работе Кошелюка, Б. Е. Перемолотовой Л. Ю отмечается, что «машиночитаемое право становится механизмом, который позволит в перспективе оптимизировать весь пласт российского законодательства» [6, с. 137]. В работе Кузьмина И.М. отмечается, что «машиночитаемое право относится к числу правовых иллюзий» [7, с. 1-3].

В работе Р. Ф Мустафина, Ю. А. Вирич «отмечается, что машиночитаемое право – это представление закреплённых норм права на языках программирования посредством онтологии права» [9, с. 59-60].

В современных зарубежных исследованиях, посвящённых вопросам «машиночитаемого права, в частности в работе Araszkiewicz M., Florczak-Wątor M. 2025 немало внимания уделяется технологиям искусственного интеллекта при переводе права в машиночитаемою форму [10, с. 353-354]. В работе Laurence E. Diver (2021) «рассматриваются различные особен-

ности, а также возможные пути цифровизации права и создания машиночитаемого права» [11, с. 3]. В работе Oster J. (2021) «рассматриваются вопросы перехода к машиночитаемому праву» [12, с. 101-115].

Однако, несмотря на многочисленные публикации, посвященные вопросам машиночитаемого права, вопрос как перевести правовые нормы на язык алгоритмов, какие технологии должны быть использованы для осуществления подобного рода перехода остается открытым.

Все это предполагает проведение специальных исследований, предметом которых будет рассмотрение технологий перевода правовых предписании в машиночитаемый код, в том числе и настоящего исследования. При этом предметом подобного рода исследований будут закономерности создания и использования технологий формирования машиночитаемого права. Цель исследования будет заключаться в том, чтобы определить технологии формирования машиночитаемого права, а также их основных составляющих. Достижение цели исследования предполагает решение следующих научно-исследовательских задач, к числу которых можно отнести следующие:

1) определение понятия «машиночитаемое право», а также понятия технологии формирования машиночитаемого прав;

2) определение основных составляющих технологий формирования «машиночитаемого права;

3) анализ факторов, влияющих на технологии формирования машиночитаемого права;

4) выявление возможных ошибок при реализации технологий машиночитаемого права и поиск путей их устранения.

К числу методов подобного рода исследований можно отнести: а) системный анализ, который позволяет выявить основные элементы (составляющие) технологий формирования машиночитаемого права, а также выявлять возможные ошибки при формировании «машиночитаемого права» и предлагать пути их устранения; б) формально-юридический подход и его разновидность юридический анализ, который позволяет построить онтологию правового регулирования общественных отношений, в) факторный анализ, который позволяет выявить факторы, влияющие на технологии формирования машиночитаемого права; г) общенаучные методы: анализ, синтез, индукция, дедукция, абстрагирование, обобщение, при помощи которых формулируются понятийные ряды, связанные с технологиями формирования машиночитаемого права.

Основная часть

Понятие и основные составляющие технологии формирования машиночитаемого права.

Под технологиями формирования машиночитаемого права предлагается понимать систему действий, комбинаций и операций, которые направлены на создание машиночитаемого права. При этом само машиночитаемое право представляет собой особым образом структурированную базу данных, которая содержит юридически значимую информацию, посредством которой возможно осуществление правового регулирования общественных отношений». При этом, к числу основных составляющих технологий формирования «машиночитаемого права» можно отнести следующее операции, связанные с:

1) анализом онтологии правового регулирования общественных отношений;

2) определением на основе анализа онтологии правового регулирования общественных отношений ключевых метаданных, необходимых для построения машиночитаемого права;

3) определением связей между ключевыми метаданными, необходимыми для построения машиночитаемого права;

4) проектированием подобного рода базы данных;

5) заполнением базы данных конкретными данными, в том числе при помощи форм либо XML разметки правовых документов;

6) предварительное тестирование базы данных машиночитаемого права;

7) принятие решения о внедрении машиночитаемого права в отдельных областях правового регулирования общественных отношений;

8) распространение технологий формирования машиночитаемого права на другие области общественных отношений.

Рассмотрим эти элементы более подробно.

Первым этапом необходимым для формирования машиночитаемого права является анализ онтологии правового регулирования общественных отношений. Он представлен на рис. 1.

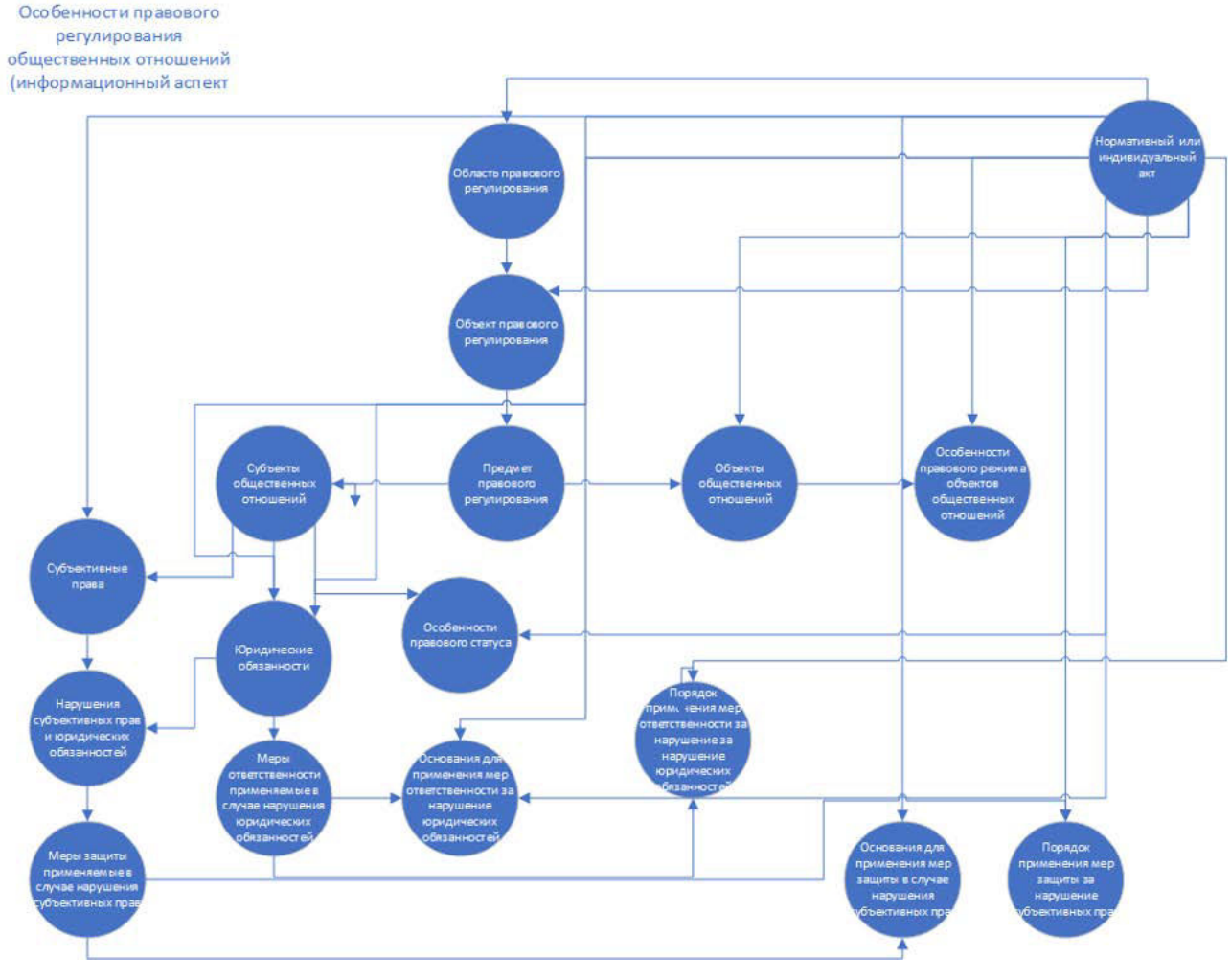


Рис. 1. Онтологическая схема правового регулирования общественных отношений

Из данного рисунка следует, что в области правового регулирования общественных отношений выделяются объект и предмет правового регулирования, в свою очередь в предмете правового регулирования выделяются субъекты и объекты, а также связи между ними, которые приобретают при осуществлении правового регулирования общественных отношений форму субъективных прав и юридических обязанностей, которые имеют свои основания возникновения и прекращения. Указанные элементы закрепляются в нормативных и индивидуальных актах, равно как меры защиты и меры ответственности за нарушение субъективных прав и неисполнения юридических обязанностей.

В результате этого можно выделить следующие детерминации элементов правового регулирования, к числу которых можно отнести следующие детерминации элементов правового регулирования: 1) области правового регулирования; 2) объекта правового регулирования; 3) предмета правового регулирования; 4) правового статуса субъектов общественных отно-

шений, входящих в предмет правового регулирования; 5) правового режима объектов общественных отношений, входящих в предмет правового регулирования; 6) субъективных прав; 7) юридических обязанностей; 8) оснований возникновения субъективных прав; 9) оснований прекращения субъективного права; 10) детерминация оснований возникновения. юридической обязанности; 11) оснований прекращения юридической обязанности; 12) нарушения юридической обязанности; 13) нарушения субъективного права; 14) мер юридической ответственности; 15) мер защиты.

Выглядит это следующим образом на примере детерминации мер защиты и мер ответственности.

Таблица 1

Детерминация мер защиты (конкретный пример)

Наименование области правового регулирования		
Описание области правового регулирования (Договорные отношения)		
Наименование объекта правового регулирования		
Деятельность по продаже имущества		
Наименование предмета правового регулирования		
Отношения купли – продажи		
Наименование субъекта общественного отношения		
Покупатель		
Наименование субъективного права		
Право на получение товара свободного от любых прав третьих лиц, если иное не предусмотрено договором		
Наименование нарушения субъективного права		
Продажа товара не свободного от прав третьих лиц		
Наименование меры защиты		
расторжение договора и возмещение убытков		
Наименование правового акта, определяющего перечень мер защиты нарушенного субъективного права	Тип правового акта, определяющего перечень мер защиты нарушенного субъективного права	Статус правового акта, регулирующего данную область общественных отношений (действующий, не вступил в силу, утратил силу
Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий

Таблица 2

Детерминация мер юридической ответственности (пример)

Наименование области правового регулирования
Описание области правового регулирования (Договорные отношения)
Наименование объекта правового регулирования
Деятельность по продаже имущества
Наименование предмета правового регулирования
Отношения купли – продажи

Окончание табл. 2

Наименование субъекта общественного отношения		
Продавец		
Наименование юридической обязанности		
Обязанность продать товар свободным от любых прав третьих лиц, на нее		
Наименование нарушения юридической обязанности		
Продажа товара при наличии прав третьих лиц		
Наименование возможной меры юридической ответственности		
Возмещение убытков		
Наименование правового акта, определяющего перечень мер защиты нарушенного субъективного права	Тип правового акта, определяющего перечень мер защиты нарушенного субъективного права	Статус правового акта, регулирующего данную область общественных отношений (действующий, не вступил в силу, утратил силу
Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий

Анализ данных таблиц показывает, что каждому из элементов этих таблиц может быть предоставлен соответствующий аргумент (поле базы данных).

Покажем это на двух примерах.

Добавим столбец в табл. 1. Получим следующую таблицу.

Таблица 3

Индексная детерминация мер защиты

Индекс таблицы	
ID таблицы (к примеру 1)	
Наименование поля	ID поля
Наименование области правового регулирования	1.
Описание области правового регулирования (Договорные отношения)	1.1.
Наименование объекта правового регулирования	2
Деятельность по продаже имущества	2.1
Наименование предмета правового регулирования	3
Отношения купли – продажи	3.1
Наименование субъекта общественного отношения	4
Покупатель	4.1.
Наименование субъективного права	5
Право на получение товара свободного от любых прав третьих лиц, если иное не предусмотрено договором	5.1.
Наименование нарушения субъективного права	6
Продажа товара не свободного от прав третьих лиц	6.1
Наименование меры защиты	7
расторжение договора и возмещение убытков	7.1

Окончание табл. 3

Наименование правового акта, определяющего перечень мер защиты нарушенного субъективного права	Тип правового акта, определяющего перечень мер защиты нарушенного субъективного права	Статус правового акта, регулирующего данную область общественных отношений (действующий, не вступил в силу, утратил силу
ID (1) поля	ID (2) поля	ID (3) поля
1 (1)	1(2)	1 (3)
Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий

Аналогично с юридической ответственностью.

Таблица 4

Индексная детерминация мер юридической ответственности (пример)

Индекс таблицы		Индекс таблицы
ID таблицы (к примеру 2) ID таблицы		
Наименование поля		ID поля
Наименование области правового регулирования		1.
Договорные отношения		1.1.
Наименование объекта правового регулирования		2
Деятельность по продаже имущества		2.1
Наименование предмета правового регулирования		3
Отношения купли – продажи		3.1
Наименование субъекта общественного отношения		4
Продавец		4.1.
Наименование юридической обязанности		5
Обязанность продать товар свободным от любых прав третьих лиц, на нее		5.1.
Наименование нарушения юридической обязанности		6
Продажа товара при наличии прав третьих лиц		6.1
Наименование возможной меры юридической ответственности		7
Возмещение убытков		7.1
Наименование правового акта, определяющего перечень мер защиты нарушенного субъективного права	Тип правового акта, определяющего перечень мер защиты нарушенного субъективного права	Статус правового акта, регулирующего данную область общественных отношений (действующий, не вступил в силу, утратил силу
ID (1) поля	ID (2) поля	ID (3) поля
1(1)	1(2)	1(3)
Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий

Если же мы рассматриваем процесс применения права, то машиночитаемое право необходимое для процесса применения права будет выглядеть чуть сложнее и представлять собой следующие таблицы.

Таблица 5

Установление факта нарушения субъективного права (пример)

Наименование области правового регулирования				
Описание области правового регулирования (Договорные отношения)				
Наименование объекта правового регулирования				
Деятельность по продаже имущества				
Наименование предмета правового регулирования				
Отношения купли – продажи				
Наименование субъекта общественного отношения				
Покупатель				
Наименование субъективного права				
Право на получение товара свободного от любых прав третьих лиц, если иное не предусмотрено договором				
Наименование нарушения субъективного права				
Продажа товара не свободного от прав третьих лиц				
Наименование меры защиты				
расторжение договора и возмещение убытков				
Доказательства нарушения субъективного права	Описание доказательства	Наименование правового акта, определяющего нарушения субъективного права	Тип правового акта, определяющего нарушения субъективного права	Статус правового акта, регулирующего данную область общественных отношений (действующий, не вступил в силу, утратил силу
1	Договор купли – продажи	Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий
2	Претензия третьих лиц,	Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий
3	Договор ссуды вещи	Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий

Таблица 6

Установление факта нарушения юридической обязанности (пример)

Наименование области правового регулирования
Договорные отношения
Наименование объекта правового регулирования
Деятельность по продаже имущества
Наименование предмета правового регулирования
Отношения купли – продажи

Окончание табл. 6

Наименование субъекта общественного отношения				
Продавец				
Наименование юридической обязанности				
Обязанность продать товар свободным от любых прав третьих лиц, на нее				
Наименование нарушения юридической обязанности				
Продажа товара при наличии прав третьих лиц				
Наименование возможной меры юридической ответственности				
Возмещение убытков				
Доказательства нарушения юридической обязанности (индекс ID)	Описание доказательства	Наименование правового акта, определяющего нарушения субъективного права	Тип правового акта, определяющего нарушения субъективного права	Статус правового акта, регулирующего данную область общественных отношений (действующий, не вступил в силу, утратил силу
1	Договор купли – продажи	Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий
2	Претензия третьих лиц	Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий
3	Договор ссуды вещи	Гражданский кодекс РФ (часть 2 (статья 460)	Федеральный закон	Действующий

Соответственно типу поля базы данных присваивается определенный индекс, что позволяет по индексу находить нужный ответ в базе данных.

Таким образом онтология правового регулирования общественных отношений позволяет выявить ключевые элементы, которые необходимы для заполнения базы данных машиночитаемого права.

Для определения связей между ключевыми метаданными необходимыми для проектирования машиночитаемого права можно воспользоваться UML диаграммами [8, с. 101-110]. Основное назначение каждой из диаграмм UML представлено в табл. 7.

Таблица 7

Использование UML диаграмм для создания машиночитаемого права

Название диаграммы	**Пример в юридической деятельности**
Диаграммы классов	Описание соотношения между нормами права вообще и нормами отдельных отраслей права
Диаграммы объектов	Описание иерархической структуры правового регулирования общественных отношений
Диаграммы компонентов	Описание зависимостей\ между различными\ элементами правового регулирования или применения правотворческой деятельности
Диаграммы размещения (развертывания)	Для разработки информационных систем в юридической деятельности

Окончание табл. 7

Название диаграммы	Пример в юридической деятельности
Диаграммы составных структур	Например, описать структуру субъективного права или юридической обязанности
Диаграммы пакетов	Для разработки информационных систем в юридической деятельности
Диаграммы профилей (профайлов)	Для разработки информационных систем в юридической деятельности
Диаграммы прецедентов (вариантов использования)	При помощи данной диаграммы можно описать тот или иной вариант решения правовой ситуации
Диаграммы деятельности	При помощи данной диаграммы можно, к примеру описать процесс правоприменения и роли участников в нем
Диаграммы состояний	При помощи данной диаграммы описываются различного рода алгоритмы, в том числе в юридической деятельности
Диаграммы коммуникации	Может быть использована для описания взаимодействия тех или иных правовых явлений
Диаграммы последовательности	Может быть использована для описания взаимодействия лиц в правовых процессах
Диаграммы обзора взаимодействий	Может быть использована для описания процесса управления юридической деятельностью
Временные диаграммы	Может быть использована для описания поведения субъекта права в данный момент времени с точки зрения соблюдения или нарушения им требований законодательства

Таким образом, мы видим, что диаграммы языка UML могут быть вполне использованы для структурирования данных и метаданных юридической деятельности.

Также представляется очень важным использовать в технологиях формирования машиночитаемого права методики структурирования данных и метаданных в юридической деятельности.

Под методиками структурирования данных и метаданных в юридической деятельности следует понимать положения, которые описывают последовательность структурирования данных и метаданных в юридической деятельности;

Методики структурирования данных и метаданных в юридической деятельности мигнут быть самыми разнообразными, но должны включать в себя следующие элементы:

1) определение данных и метаданных юридической деятельности, которые подлежат структурированию далее (метаданные объектов);

2) осуществление идентификации метаданных объектов посредством присвоения каждому объекту структурирования метаданных объектов определенного идентификатора;

3) определение взаимосвязи между данными и метаданными возникающими в юридической деятельности, то есть определение метаданных связей между метаданными объектов;

3) присвоение метаданным о взаимосвязи между объектами определенного идентификатора;

4) если связь являет временной, то также необходимо давать метаданные о времени жизни объекта или времени жизни связи (временные метаданные определенного идентификатора;

5) необходимо приделать метаданные касающейся статуса того или иного объекта юридической реальности (метаданные статуса) с присвоения им определенного идентификатора;

6) определение типа метаданных (метаданные объектов, связей, времени, статуса) и присвоении каждому типу определенного идентификатора;

Представляется очень важным чтобы каждым метаданным включая метаданным о типах метаданных был присвоен определенный идентификатор;

В табличной форме это выглядит следующим образом.

Таблица 8

Идентификация метаданных в юридической деятельности (пример)

ID записи	Идентификатор метаданных	Идентификатор типа метаданных	Тип метаданных	Наименование метаданных
	1.1	1	Метаданные объектов	Субъект права
	1.2			Субъективное право
	1.3.			Юридическая обязанность
	1.4			Меры защиты
	1.5.			Меры ответственности
	1.6			Основания возникновения субъективных прав
	1.7			Основания прекращения субъективных прав
	1.8			Основания возникновения юридических обязанностей
	1.9			Основания прекращения юридических обязанностей
	1.10			Способы осуществления субъективных прав
	1.11			Способы осуществления юридических обязанностей
	1.12			Сроки осуществления субъективных прав
	1.13			Сроки осуществления юридических обязанностей
	1.14			Иные правовые объекты
	2.1/	2	Метаданные связей	Связь между субъективным правом и юридической обязанностью
	2.2.			Связь между субъективным правом и мерами защиты
	2.3.			Связь между юридической обязанностью и юридической ответственностью
	2.4.			Связь между различными источниками права
	3.1.	3	Метаданные времени	Время начала действия источника права
	3.2.			Время окончания действия источника права
	3.3			Срок осуществления субъективного права
	3.4			Срок исполнения юридической обязанности

Окончание табл. 8

ID записи	Идентификатор метаданных	Идентификатор типа метаданных	Тип метаданных	Наименование метаданных
	3.5.			Исковая давность и ее аналоги
	4.1	4	Метаданные статуса	Статус источника права
	4.2			Статус субъекта права
	4.3			Правовой режим объектов общественных отношений

Также важно в машиночитаемом праве обеспечить правопреемство при осуществлении структурирования данных и метаданных в юридической деятельности.

При этом при осуществлении процесса правопреемства данные и метаданные о субъективных правах и обязанностях, которые перешли к другому субъекту в части субъекта права должны быть изменены, а остальные метаданные должны остаться прежними.

Как это выглядит на практике?

Любое субъективное право, равно как юридическая обязанность состоит из следующих элементов: 1) субъект (носитель права); 2) объект (то в отношении чего возникает право или обязанность); 3) содержание субъективного права или юридической обязанности (мера должного или возможного поведения); 4) основание возникновения субъективного права или обязанности; 5) основания изменения субъективных прав и обязанностей 6) основания прекращения субъективных прав и обязанностей.

Каждому из этих элементов присваивается определенный идентификатор, равно как и самому субъективному праву.

В табличной форме это выглядит следующим образом.

Таблица 9

Структура субъективного права (пример)

Наименование субъекта общественного отношения		
Покупатель		
ID субъекта		
1		
Описание субъекта общественного отношения		
Физическое лицо		
ID субъективного права		
1.1.		
Наименование субъективного права		
Получить вещь свободную от любых прав третьих лиц		
Наименование объекта субъективного права	Описание оснований возникновения, изменения или прекращения субъективного права	Тип основания
Вещь	Договор купли – продажи	Возникновение
	Дополнительное соглашение к договору купли – продажи, предусматривающее наличие прав третьих лиц на вещь	Изменение
	Надлежащее исполнение обязательств	прекращение

Таблица 10

Структура юридической обязанности (пример)

Наименование субъекта общественного отношения		
Покупатель		
ID субъекта		
2		
Описание субъекта общественного отношения		
Юридическое лицо		
ID юридической обязанности		
2.1		
Наименование юридической обязанности		
Передать покупателю вещь свободную от любых прав третьих лиц		
Наименование объекта юридической обязанности	Описание оснований возникновения, изменения или прекращения юридической обязанности	Тип основания
Вещь	Договор купли – продажи	Возникновение
	Дополнительное соглашение к договору купли – продажи, предусматривающее наличие прав третьих лиц на вещь	Изменение
	Надлежащее исполнение обязательств	прекращение

Далее при осуществлении правопреемства (например, в случае смерти покупателя, либо реорганизации продавца или уступки требований) создается таблица транзакций субъективных прав и юридических обязанностей.

Эта таблица выглядит следующим образом.

Таблица 11

Транзакция субъективного права (пример)

Наименование параметра	**Значение параметра**
ID субъективного права	1.1
Наименование субъективного права	Получить вещь свободную от любых прав третьих лиц
ID предшественника	1.
Наименование предшественника	Иванов Иван Иванович
ID правопреемника	2
Наименование правопреемника	Иванов Петр Иванович
Основание перехода	Наследование
Дата перехода	Дата смерти наследодателя

Таблица 12

Транзакция юридической обязанности (пример)

Наименование параметра	Значение параметра
ID юридической обязанности	2.1.
Наименование юридической обязанности	Передать вещь, свободную от любых прав третьих лиц
ID предшественника	1
Наименование предшественника	ООО Ромашка
ID правопреемника	2
Наименование правопреемника	ООО Маргаритка
Основание перехода	Разделение юридического лица
Дата перехода	Дата государственной регистрации разделения

После заполнения этих таблиц осуществляется изменение ID субъекта субъективного права и юридической обязанности.

Таким образом система мероприятий по обеспечению правопреемства данных и метаданных в юридической деятельности включает в себя:

1) определение субъективных прав и обязанностей, подлежащих переходу от одного субъекта к другому, а равно субъектов процесса правопреемства (предшественника и преемника;

2) определение ID предшественника;

3) определение ID преемника;

4) составление таблиц транзакций перехода субъективных прав и юридически обязанностей;

5) замена метаданных о субъекте права применительного к конкретному субъективном праву или юридической обязанности, которое перешло од одного лица к другому.

В целях обеспечения подобного рода операций, оператор информационной системы должен быть обучен вносить подобного рода изменения в соответствующие таблицы, а сама информационная система должна поддерживать возможность осуществления фиксации процессов правопреемства от одного лица к другому.

Использование подобного рода методик позволит, по мнению автора, правильно проектировать базу данных машиночитаемого права, осуществлять ее внедрение и распространение. При этом при использовании ИИ для осуществления работ в сфере машиночитаемого права надо учитывать возможные риски, о которых говорится в работе [3].

Основные факторы, влияющие на технологию формирования машиночитаемого права»

Под основными факторами, влияющими на технологию формирования машиночитаемого права» предлагается понимать обстоятельства, которые прямо или косвенно, позитивно либо негативно влияют на формирование машиночитаемого права.

К числу таких факторов можно отнести:

а) определенность основных элементов, составляющих онтологию правового регулирования;

б) осознание разработчиком машиночитаемого права особенностей онтологии правового регулирования;

в) наличие соответствующего программного обеспечения, позволяющего правильно структурировать данные и метаданные, необходимые для создания машиночитаемого права XML размётчики;

в) осознание разработчиком машиночитаемого права необходимости использования специализированного программного обеспечения XML размётчиков для создания машиночитаемого права;

г) наличие систем управления базами данных, позволяющих управлять огромными массивами структурированной правовой информации нормативного характера;

д) осознание разработчиком машиночитаемого права необходимости использования систем управления базами данных, позволяющих управлять огромными массивами структурированной правовой информации нормативного характера;

ж) владение методиками структурирования данных и метаданных в юридической деятельности, а равно методиками обеспечения процесса правопреемства в юридической деятельности.

Далее рассмотрим основные ошибки при формировании машиночитаемого права и пути их профилактики.

Основные ошибки при формировании машиночитаемого права и пути их профилактики

Под основными ошибками, возникающими при формировании машиночитаемого права, можно понимать неверное использование тех или иных приёмов, методов и способов, которые необходимы для формирования машиночитаемого права.

К числу таких ошибок можно отнести:

а) неверное определение либо неопределенность основных элементов онтологической структуры правового регулирования;

б) неправильное определение основных метаданных, характеризующих основные элементы онтологической структуры правового регулирования;

в) неверное структурирование данных и метаданных необходимых для формирования машиночитаемого права;

г) необеспечение правопреемства данных и метаданных в процессе формирования и функционирования машиночитаемого права;

д) использование информационных технологий, которые не позволят сформировать машиночитаемое право;

В целях профилактики ошибок можно воспользоваться следующим алгоритмом, в ходе которого будут проверяться: а) правильность определения основных элементов онтологической структуры правового регулирования; б) правильность определения основных метаданных, характеризующих основные элементы онтологической структуры правового регулирования; в) правильность обеспечения правопреемства данных и метаданных в процессе формирования и функционирования машиночитаемого права; д) правильность использования информационных технологий, которые помогут сформировать машиночитаемое право.

Подведём итоги.

Заключение

1. Под машиночитаемым правом предлагается понимать особым образом структурированную базу данных, которая содержит юридически значимую информацию, посредством которой возможно осуществление правового регулирования общественных отношений.

2. Под технологиями формирования машиночитаемого права предлагается понимать систему действий, комбинаций и операций, которые направлены на создание машиночитаемого права.

3. К числу основных составляющих технологий формирования машиночитаемого права можно отнести следующее операции, связанные с:

а) анализом онтологии правового регулирования общественных отношений;

б) определением на основе анализа онтологии правового регулирования общественных отношений ключевых метаданных, необходимых для построения машиночитаемого права;

в) определением связей между ключевыми метаданными, необходимыми для построения машиночитаемого права;

г) проектированием подобного рода базы данных;

д) заполнением базы данных конкретными данными, в том числе при помощи форм либо XML разметки правовых документов;

е) предварительное тестирование базы данных машиночитаемого права;

ж) принятие решения о внедрении машиночитаемого права в отдельных областях правового регулирования общественных отношений;

з) распространение технологий формирования машиночитаемого права на другие области общественных отношений.

4. Под основными факторами, влияющими на технологию формирования машиночитаемого права, предлагается понимать обстоятельства, которые прямо или косвенно, позитивно либо негативно влияют на формирование машиночитаемого права

5. Под основными ошибками, возникающими при формировании машиночитаемого права, можно понимать неверное использование тех или иных приёмов, методов и способов, которые необходимы для формирования машиночитаемого права.

Дальнейшее направление исследований автор склонен связывать с анализом особенностей функций машиночитаемого права, а также особенностям его формирования в различных отраслях права.

Список литературы

1. Агибалова, Е. Н. Машиночитаемое право: актуальные вопросы автоматизации права в правовой системе Российской Федерации / Е. Н. Агибалова, Т. В. Высогурская // Журнал юридических исследований. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 27-37. EDN YUAQKP.

2. Головкин, Р. Б. Машиночитаемое право в механизме развития правоприменения / Р. Б. Головкин, И. М. Кузьмин // Вестник Владимирского юридического института. – 2024. – № 1 (70). – С. 120-125. EDN SMWYYN

3. Искусственный интеллект vs Учитель и Юрист: проблемы и риски применения генеративного ИИ : Коллективная монография в форме экспертно-аналитического доклада / А. В. Аверин, С. В. Бошно, С. Г. Бунина [и др.]. – Москва : Фонд «Консалтинга и правовой защиты населения», 2026. – 136 с. – EDN GEDZMA.

4. Ковалева, Н. Н. Машиночитаемое право как механизм умного регулирования в области связи / Н. Н. Ковалева // Правовая политика и правовая жизнь. – 2019. – № 3. – С. 158-160. EDN ZVFYUS.

5. Козырева, А. Б. Машиночитаемое право в России: текущее состояние и перспективы / А. Б. Козырева, М. Ф. Кадиева // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 406-414.

6. Кошелюк, Б. Е. Машиночитаемое право и искусственный интеллект в юридической сфере / Б. Е. Кошелюк, Л. Ю. Перемолотова // Аграрное и земельное право. – 2023. – № 12 (228). – С. 136-137. DOI 10.47643/1815-1329_2023_12_136. EDN BKHZMV

7. Кузьмин, И. М. Правовые иллюзии и машиночитаемое право / И. М. Кузьмин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 3 (141). – С. 1.3. DOI 10.23670/IRJ.2024.141.116. EDN FRNMFE.

8. Моисеев, А. Н. Основы языка UML: учеб. пособие / А. Н. Моисеев, М. И. Литовченко. – Томск : Издательство Томского государственного университета, 2023. – 96 с.

9. Мустафин, Р. Ф. Машиночитаемое право: реальность и перспективы / Р. Ф. Мустафин, Ю. А. Вирич // Кубанское агентство судебной информации PRO-SUD-123.RU: Юридический сетевой электронный научный журнал. – 2022. – № 1 (13). – С. 57-64. EDN QOCPCL.

10. Araszkiewicz M., Florczak-Wątor M. AI and the principles of proper legislation: enhancing quality, understandability, and consistency in legal texts //The Theory and Practice of Legislation. – 2025. – Т. 13. – №. 3. – С. 353-382.

11. Diver L. E. Digisprudence: code as law rebooted. – Edinburgh University Press, 2021.

12. Oster J. Code is code and law is law – the law of digitalization and the digitalization of law // International Journal of Law and Information Technology. – 2021. – Т. 29. № 2. – С. 101-117. – URL: https://doi.org/10.1093/ijlit/eaab004.

УДК 004.5

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНОВ И УЧРЕЖДЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ РОСПОТРЕБНАДЗОРА ПО РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Патяшина М.А., д.м.н., чл-корр. Академии наук Республики Татарстан, доцент, заведующий кафедрой эпидемиологии и дезинфектологии КГМА – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ России, руководитель Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан, главный государственный санитарный врач по Республике Татарстан;
ORCID: 0000-0002-6302-3993;
Панкратова О.Н., начальник отдела социально-гигиенического мониторинга Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан, г. Казань, Россия

FEATURES OF DIGITIZATION OF ACTIVITIES OF BODIES AND INSTITUTIONS OF ROSPOTREBNADZOR FOR THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Patyashina M.A, Doctor of Medical Sciences, Corresponding Member Division of Medical and Biological Sciences, Tatarstan Academy of Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Epidemiology and Disinfectology at the Kazan State Medical Academy (Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education "Russian Medical Academy of Continuous Professional Education" of the Ministry of Health of Russia), Head of the Rospotrebnadzor Office for the Republic of Tatarstan, Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0002-6302-3993;
Pankratova O.N., Head of the Social-Hygienic Monitoring Department of the Rospotrebnadzor Office for the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматривается процесс цифровизации деятельности Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан посредством внедрения ведомственной информационной платформы «Единая информационно-аналитическая система» (ЕИАС Роспотребнадзора). Описаны этапы внедрения системы: от разработки архитектуры и пилотного запуска в 2020–2021 гг. до перехода основных модулей в постоянную эксплуатацию с сентября 2022 г.

На текущий момент в деятельность органов и учреждений Управления интегрировано 17 модулей ЕИАС, включая социально-гигиенический мониторинг, контрольно-надзорную деятельность, лабораторное обеспечение и учёт иностранных граждан. Управление участвует в восьми рабочих группах по разработке и совершенствованию функционала системы.

Особое внимание уделено межведомственному информационному взаимодействию ЕИАС с федеральными информационными системами, а также автоматизации передачи данных в государственную информационную систему «Интерактивная карта контроля качества питьевой воды» в рамках федерального проекта «Чистая Вода». С января 2018 года по первое полугодие 2026 г. передано более 130 тысяч исследований, а с сентября 2024 г. импортировано более 1,5 тысячи отчётов от ресурсоснабжающих организаций.

Цифровизация стала неотъемлемой частью ежедневных процессов Управления, а дальнейшее развитие ведомственных информационных систем является необходимым условием эффективной работы.

Ключевые слова: ЕИАС Роспотребнадзора, цифровизация, социально-гигиенический мониторинг, качество питьевой воды, межведомственное взаимодействие, информационные системы

Abstract

The article examines the process of digitalization of the Rospotrebnadzor Administration for the Republic of Tatarstan through the implementation of the departmental information platform "Unified Information and Analytical System" (EIAS Rospotrebnadzor). The stages of system implementation are described: from architecture development and pilot launch in 2020–2021 to the transition of main modules into permanent operation since September 2022.

Currently, 17 EIAS modules have been integrated into the activities of the Administration's bodies and institutions, including socio-hygienic monitoring, supervisory activities, laboratory support, and foreign citizens registration. The Administration participates in eight working groups on the development and improvement of system functionality.

Special attention is paid to interdepartmental information interaction of EIAS with federal information systems, as well as automation of data transfer to the state information system "Interactive Map of Drinking Water Quality Control" within the federal project "Clean Water". From January 2018 to the first half of 2026, more than 130 thousand studies were transferred, and since September 2024, more than 1.5 thousand reports from resource-supplying organizations have been imported.

It is concluded that digitalization has become an integral part of the Administration's daily processes, and further development of departmental information systems is a necessary condition for effective operation.

Keywords: EIAS Rospotrebnadzor, digitalization, socio-hygienic monitoring, drinking water quality, interdepartmental interaction, information systems

Современный этап развития общества и государства характеризует динамичное развитие информационных технологий, что является следствием последовательно проводимой государственной политики по цифровой трансформации работы министерств и ведомств.

Эффективность государственного управления в современных условиях напрямую зависит от внедрения инновационных цифровых решений в процессы осуществления государственных функций органов государственной исполнительной власти.

Для цифровизации деятельности Роспотребнадзора, в том числе для взаимодействия с другими министерствами и ведомствами, организациями, а также гражданами, разработана ведомственная информационная платформа «Единая информационно-аналитическая система» (далее – ЕИАС Роспотребнадзора) [1, 2, 3].

Основой заложенной архитектуры ведомственной информационной системы являются разные уровни доступа пользователей, которые зависят от организационной структуры учреждений (муниципальный, региональный, федеральный), конкретного вида деятельности и различия в уровнях ответственности и принятия решений. Назначенные права доступа пользователям влияют на видимость интерфейса, объем работы и используемые аналитические обобщения [4, 5].

Внедрение информационной системы в организации Роспотребнадзора проходило в несколько этапов: в 2020-2021 гг. проводилась активная фаза по разработке архитектуры и пилотного запуска программы, с сентября 2022 г. – переход основных модулей в постоянную эксплуатацию.

В настоящее время в Управление Роспотребнадзора по Республике Татарстан и ее подведомственные организации (далее – Управление) активно внедряется и развивается ЕИАС Роспотребнадзора на всех уровнях.

Управление принимает и активно продолжает участвовать во внедрении ЕИАС Роспотребнадзора с этапа опытной эксплуатации и является участниками 8 рабочих групп по раз-

работке модулей «Социально – гигиенического мониторинга», «Ведение федерального реестра хозяйствующих субъектов(ЮЛ/ИП) и их производственных объектов», «Токсикологический мониторинг», «Статистическая отчётность и анализ деятельности», «Формирование, ведение и использование системы информирования об опасной продукции и взаимодействия с ФТС России в рамках СКК», «Контрольно-надзорная деятельность», «Планирование деятельности» и «Лабораторное обеспечение».

В настоящее время в деятельность органов и учреждений Управления внедрено 17 модулей ЕИАС Роспотребнадзора.

Работа каждого модуля строится на разных доступах к актуальным данным в любое время, в зависимости от производственной необходимости и уровне ответственности каждого специалиста организаций Управления.

Функциональность ЕИАС Роспотребнадзора продолжает развиваться, в работу специалистов внедряются как новые модули, так и дорабатываются и расширяются возможности уже существующих систем. Следует отдельно отметить заложенную технологическую архитектуру ЕИАС Роспотребнадзора по межведомственному информационному взаимодействию с другими информационными системами, такими как «Единый реестр контрольно-надзорных мероприятий», «Единый реестр обязательных требований», «Единый реестр видов федерального государственного контроля (надзора), регионального государственного контроля (надзора), муниципального контроля», «личный кабинет на Едином портале государственных и муниципальных услуг», «Единый государственный реестр недвижимости», «Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства», а также «Единый государственный реестр юридических лиц и индивидуальных предпринимателей», «Федеральная информационная адресная система ФНС», «Система межведомственного электронного взаимодействия», сервис «Цифровой профиль иностранного гражданина» и др.

Управление, являясь участником рабочей группы, активно внедряет и развивает модуль «Социально-гигиенического мониторинга», предназначенный для формирования федерального и регионального информационных фондов социально-гигиенического мониторинга. Работа проводилась в два этапа: на 1 этапе – централизованно вносились ретроспективные данные с 2006-2020 гг., на 2 этапе – промышленной эксплуатации – ежегодные региональные данные информационного фонда. Следует отметить, наполнение данными федерального информационного фонда происходит путем межмодульного взаимодействия, а именно автоматической выгрузки данных по лабораторным исследования и замерам, а также сведений паспортов мониторинговых точек из других модулей ЕИАС Роспотребнадзора, таких как «Лабораторное обеспечение» и «Нормативно – правовая информация». При работе в модуле выявлено, что поэтапное внедрение модуля в деятельность Роспотребнадзора требует совершенствования и доработки нормативноправовой и материально-технической базы, что подтверждается работой и других коллег [2].

Одним из «новых» внедрился в работу Управления модуль «Учет иностранных граждан и лиц без гражданства», который напрямую участвуют в формировании государственного цифрового ресурса «Цифровой профиль иностранного гражданина» – единая межведомственная база данных, созданная в России для сбора и систематизации всей информации о мигрантах. Участие ЕИАС Роспотребнадзора в объединение разрозненных данных из баз различных ведомств упрощает процедуры получения государственных услуг для иностранных граждан, повышает эффективность контроля за миграционной ситуацией и соблюдением законодательства Российской Федерации.

Особую значимость применения цифровых инструментов органов и учреждений Роспотребнадзора имеет цифровизации деятельности по исполнению Федерального проекта «Чистая Вода» в рамках национального проекта «Жилье и городская среда», а именно наполнение данными о качестве питьевой воды государственной информационной системы «Интерактивная карта контроля качества питьевой воды» (далее – ИС ИКК). Данная платформа

позволяет гражданам узнать характеристики потребляемой питьевой воды в режиме реального времени в интересуемом населенном пункте и доме, фиксировать случаи превышения гигиенических нормативов. Дополнительно к этому, интерактивная карта позволяет населению оперативно реагировать на отклонения питьевой воды, путем подачи обращения напрямую в органы Роспотребнадзора, что в свою очередь улучшает контроль за работой ресурсоснабжающих организаций.

В настоящее время данный процесс полностью автоматизирован, т.е. сведения из ЕИАС Роспотребнадзора переходят в информационную базу ИС ИКК без участия специалистов. Всего органами Управления с января 2018 года по 1 полугодие 2026 года передано более 130 тыс. исследований в рамках ведения социально – гигиенического мониторинга.

Дополнительно, с сентября 2024 г. наполнение Интерактивной карты результатами о качестве питьевой воды проводится и по программе производственного контроля ресурсоснабжающих организаций (далее – РСО).

Согласно действующему законодательству «РСО необходимо направлять в органы Роспотребнадзора результаты лабораторных исследований и испытаний проб воды в точках отбора в соответствии с программой производственного контроля» [6, 7, 8].

Подготовительная работа Управлением проводилась до начала применения законодательства совместно с РСО. Первоначально, сведения из согласованных программ производственного контроля РСО о контрольных точках, Управление переводило в цифровой формат, единый для ЕИАС Роспотребнадзора и Интерактивной карты.

Для каждой точки отбора воды создавались паспорта, которые различались от уровня отбора – источник, перед поступлением в распределительную сеть и распределительная сеть. В паспортах точек отбора учитываются данные о виде водоисточника (подземный, поверхностный), методах водоподготовки, действующих водопроводах, адрес и географические координаты. Отдельно рассчитывалось количество население употребляющее воду. Каждая контрольная точка имеет индивидуальный код, единый для ЕИАС Роспотребнадзора и Интерактивной карты. Все сведения о точках отбора по программе производственного контроля Управление направило в РСО для дальнейшей работы по сбору результатов контроля.

Всего Управлением создано 3102 паспорта точек отбора по программе производственного контроля, из них 1438 на водоисточники, 349 водопроводах и 1315 в распределительной сети.

Результаты производственного контроля РСО направляют в Управление посредством заполнения специального отчета с данными об организации, наименованием точек отбора, исследуемыми показателями, датами протоколов и результатов исследований [8]. Данная работа Управлением проводится ежемесячно на постоянной основе. Полученные отчеты импортируются в ЕИАС Роспотребнадзора и автоматически переходят в ИС ИКК. Всего с 1 сентября 2024 г. Управлением импортировано в ЕИАС Роспотребнадзора более 1,5 тысяч отчетов от ресурсоснабжающих организаций, в ИС ИКК содержится более 22 тысяч исследований по данным РСО.

Открытость и информационная доступность ИС ИКК стимулирует население к более активному участию в вопросах санитарно-эпидемиологической безопасности питьевой воды, что в свою очередь является залогом доверия граждан к действию государственных органов.

Интеграция программного комплекса ЕИАС Роспотребнадзора в работу Управления создаёт единое информационное пространство для органов и учреждений Роспотребнадзора. Вместе с этим, следует отметить, что ключевое значение имеет системная работа по снижению количества ошибок и неточностей при вводе первичных данных.

Таким образом, цифровизация деятельности органов и учреждений Роспотребнадзора стала неотъемлемой частью ежедневных процессов. Развитие и распространение уже действующих ведомственных информационных систем становится жизненно необходимым условием для стабильной и эффективной деятельности Управления.

Список литературы

1. Бузинов, Р. В. Использование геоинформационных технологий и алгоритмов искусственного интеллекта для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения / Р. В. Бузинов, Ю. А. Новикова, И. О. Мясников, Н. А. Склизкова, В. Н. Федоров // Гигиена и санитария. – 2026. – 105 (1): 78–85. – URL: https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-1-78-85.
2. Колнет, И. В. К вопросу реализации программного модуля «Социально-гигиенический мониторинг» единой информационной автоматизированной системы Роспотребнадзора / И. В. Колнет, А. О. Клепиков // Гигиенические, эпидемиологические и экологические аспекты профилактики заболеваемости на региональном уровне, Воронеж, 23 марта 2023 года. – Воронеж: ООО «Цифровая полиграфия», 2023. – С. 19-21. – EDN HMVCLX.
3. Полянина, А. В. Использование ЕИАС Роспотребнадзора в анализе заболеваемости парентеральными вирусными гепатитами В и С на примере Нижегородской области / А. В. Полянина, А. Д. Кашникова, А. А. Залесских, Н. Н. Зайцева, М. Б. Бессарабова // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2025. – 33 (1): 52–60. – URL: https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-1-52-60.
4. Федеральный закон от 27 июля 2006 года № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
5. Федеральный закон от 27 июля 2006 года №152-ФЗ «О персональных данных».
6. Федеральный закон от 07.12.2011 №416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении».
7. Постановление Правительства РФ от 06.01.2015 №10 «О порядке осуществления производственного контроля качества и безопасности питьевой воды, горячей воды».
8. Методические рекомендации 2.1.4.0351-24 «Рекомендации по сбору и обобщению результатов лабораторных исследований и испытаний проб воды в точках контроля, указанных в программе производственного контроля».

УДК 342.7

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ПОДОТЧЕТНОСТЬ ПУБЛИЧНОЙ ВЛАСТИ КАК КОНСТИТУЦИОННО-ПРАВОВАЯ ПРОБЛЕМА

Петроченков И.А., соискатель ученой степени кандидата юридических наук, Московский государственный юридический университет имени О.Е. Кутафина (МГЮА); заместитель директора координационного центра ИИТиАП ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва, Россия;
E-mail: goodfellowhere@yandex.ru

ALGORITHMIC ACCOUNTABILITY OF PUBLIC AUTHORITY AS A CONSTITUTIONAL LAW PROBLEM

Petrochenkov I.A., PhD degree applicant, Kutafin Moscow State Law University (MSAL), Deputy Director of the Coordination Center of the Institute of Information Technologies and Agrarian Policy, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia;
E-mail: goodfellowhere@yandex.ru

Аннотация

В статье исследуется алгоритмическая подотчетность публичной власти как самостоятельная конституционно-правовая проблема, возникающая в условиях перехода от электронного правительства к платформенной модели публичного управления. Цель исследования состоит в определении минимального набора гарантий, которые должны сопровождать использование искусственного интеллекта и иных алгоритмических систем при подготовке либо принятии юридически значимых решений. Методологическую основу составили фор-

мально-юридический, системно-структурный и сравнительно-правовой методы; проанализированы положения Конституции Российской Федерации, законодательства о персональных данных и государственных услугах, Национальной стратегии развития искусственного интеллекта, а также Федерального закона от 26 июля 2026 г. № 243-ФЗ. Научная новизна работы состоит в конституционно-правовой постановке вопроса: алгоритмическая подотчетность рассматривается не как свойство отдельной информационной технологии, а как требование к процедуре осуществления публичного полномочия вне зависимости от того, используется ли искусственный интеллект, скоринговая модель либо более простая автоматизированная проверка. Показано, что цифровизация изменяет не только форму взаимодействия гражданина с государством, но и внутреннюю организацию публичной функции: результат может предопределяться качеством данных, настройками информационной системы и логикой автоматизированной проверки. Установлено, что действующее российское регулирование содержит отдельные элементы алгоритмической подотчетности, включая ограничения исключительно автоматизированных решений и стратегические требования прозрачности искусственного интеллекта. Обосновывается недостаточность сведения проблемы исключительно к защите персональных данных, поскольку алгоритмическое решение затрагивает также равенство, свободу информации, право на обращение и судебную защиту. Предлагается рассматривать алгоритмическую подотчетность как конституционно-правовое требование к организации цифровой публичной власти. Его минимальный стандарт должен включать раскрытие факта применения алгоритма, объяснение юридически значимого результата, возможность пересмотра решения с участием должностного лица, проверку на недискриминационность и сохранение конечной ответственности компетентного органа публичной власти.

Ключевые слова: искусственный интеллект, алгоритмическая подотчетность, публичная власть, платформенное государство, государственные услуги, персональные данные, конституционные права, алгоритмическое решение, право на объяснение, цифровая трансформация

Abstract

The article examines algorithmic accountability of public authority as an independent constitutional law problem arising from the transition from e-government to a platform-based model of public administration. The purpose of the study is to identify a minimum set of legal safeguards that should accompany the use of artificial intelligence and other algorithmic systems when legally significant public decisions are prepared or made. The methodology combines formal legal, systemic-structural and comparative legal methods and covers the Constitution of the Russian Federation, legislation on personal data and public services, the National Strategy for the Development of Artificial Intelligence, and Federal Law No. 243-FZ of 26 July 2026. The study shows that digitalisation changes not only the channel of interaction between a citizen and the state but also the internal organisation of a public function: an outcome may be predetermined by data quality, system settings and the logic of automated verification. Existing Russian regulation already contains separate elements of algorithmic accountability, including restrictions on solely automated decisions, transparency principles for artificial intelligence and documentation duties for certain models, but these elements do not form a coherent legal mechanism. The article argues that the issue cannot be reduced to personal data protection because algorithmic decisions also affect equality, freedom of information, the right to petition and judicial protection. Algorithmic accountability is therefore proposed as a constitutional requirement for the organisation of digital public authority. Its minimum standard should include disclosure of algorithmic use, an explanation of a legally significant outcome, an opportunity for review involving a public official, non-discrimination assessment, and preservation of the final responsibility of the competent public authority.

Keywords: artificial intelligence, algorithmic accountability, public authority, platform government, public services, personal data, constitutional rights, algorithmic decision, right to explanation, digital transformation

Введение

Цифровая трансформация публичного управления постепенно выходит за пределы перевода отдельных государственных услуг в электронную форму. В современной модели данные, реестры, типовые сервисы и алгоритмические инструменты объединяются в общую инфраструктуру платформенных решений, через которые осуществляется публичная функция. Всемирный банк связывает актуальный этап GovTech с переходом от электронных услуг к платформенной модели государства, в которой особую роль играют цифровые платформы [1]. Сходная логика отражена в подходе Организации экономического сотрудничества и развития (далее – ОЭСР), где «государство как платформа» рассматривается как одно из самостоятельных измерений зрелого цифрового государства [2].

Следует отметить, что изменение технологической основы публичного управления само по себе не меняет конституционную природу отношений между гражданином и государством. Человек, его права и свободы остаются высшей ценностью, а их признание, соблюдение и защита – обязанностью государства (ст. 2 Конституции РФ). При этом, применение цифровых технологий создает новые формы осуществления и ограничения прав, что связывается с необходимостью адаптации гарантий правового статуса к цифровой среде [3; 4].

В традиционной административной процедуре гражданин, как правило, способен установить орган, принявший решение, получить его мотивировку и обжаловать результат. В платформенной модели между органом и адресатом появляются информационная система, оператор, разработчик, поставщик данных и алгоритмический компонент. При этом технологическое усложнение процедуры не должно приводить к тому, что алгоритм, участвующий в подготовке решения, становится самостоятельным носителем публичной власти.

Методика исследования

Исследование построено на сочетании формально-юридического, системно-структурного и сравнительно-правового методов. Формально-юридический метод использован для определения содержания действующих норм, относящихся к автоматизированным решениям, персональным данным и государственным услугам. Системно-структурный подход позволяет рассматривать такие нормы не изолированно, а как элементы формирующегося механизма цифровых гарантий. Сравнительно-правовой метод применяется в ограниченном объеме для сопоставления российского подхода с общей логикой алгоритмического администрирования, в рамках которой платформенные технологии рассматриваются как среда осуществления публичных полномочий, а не как нейтральный технический инструмент.

Алгоритмическое решение в системе платформенного управления

Функционирование платформенной инфраструктуры все теснее связано с технологиями искусственного интеллекта (далее – ИИ). В публичном секторе они применяются для обработки массивов данных, выявления рисков, классификации обращений, подготовки рекомендаций и автоматизации типовых операций [5]. Однако для конституционно-правового анализа принципиальное значение имеет не используемая технология как таковая, а степень ее влияния на юридически значимый результат.

По нашему мнению, алгоритмическим для целей публичного управления следует считать решение, содержание которого полностью либо в существенной части определяется результатом автоматизированной обработки данных по заранее установленной логике. Такой подход позволяет не ограничивать предмет исследования только системами ИИ. Правовые риски могут возникать и при формально более простом автоматическом сопоставлении реестров, скоринге, проверке условий предоставления услуги или выборе предусмотренного системой сценария.

Так, в России сейчас чаще встречается не принятие решений платформами с использованием ИИ самостоятельно, а автоматизация по реестрам. Например:

– страховые и социальные пенсии по инвалидности назначаются без заявления: данные об инвалидности поступают из Федерального реестра инвалидов, после чего СФР оформляет пенсию и уведомляет гражданина;

– сертификат на маткапитал оформляется автоматически после регистрации рождения ребёнка в ЗАГСе и приходит в личный кабинет на Госуслугах;

– беззаявительный порядок по ряду налоговых льгот и вычетов, когда право подтверждается имеющимися у налогового органа данными. С 2020 года такой порядок действует, например, по транспортному налогу, а в целом льгота или вычет предоставляются без обращения налогоплательщика.

Таким образом, с одной стороны, автоматизация расширяет возможности реализации прав: сокращает число документов, которые гражданин должен представить самостоятельно, позволяет предоставлять услуги без заявления, снижает значение территориальных и временных барьеров. С другой стороны, та же инфраструктура концентрирует данные и правила принятия решений. Если гражданин не знает, что результат сформирован автоматически, какие сведения использованы и каким образом исправить ошибку, технологическая эффективность начинает конкурировать с требованиями правовой определенности и эффективной защиты.

Отсюда следует, что прозрачность алгоритма напрямую связана с принципом свободы информации (ст. 3 Закона № 149-ФЗ), однако не должна пониматься как обязанность раскрыть программный код или все технические параметры модели. Для адресата публичного решения существенны прежде всего факт использования автоматизированной системы, данные, повлиявшие на результат, основные критерии оценки, роль должностного лица, порядок исправления сведений и обжалования [6].

Вместе с тем применительно к сложным алгоритмическим моделям достижение содержательной проверяемости результата может требовать более глубокого доступа к технической информации. В случаях массового нарушения прав граждан в рамках судебного разбирательства должна быть обеспечена возможность доступа к документации, сведениям о параметрах и ограничениях модели, в объеме, позволяющем проверить законность, недискриминационность и воспроизводимость решения.

Действующее регулирование: элементы и пределы

Базовый для отрасли информационных технологий Закон № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» в статье 8 закрепляет право граждан и организаций искать и получать информацию в любых формах и из любых источников. Эта норма может использоваться как базовое основание для требования информации о деятельности цифровых систем публичной власти. Однако это не решает собственно проблему алгоритмической подотчётности, т.к. не устанавливается специальная обязанность раскрывать факт применения алгоритма, параметры модели, источники данных, критерии автоматической оценки или причинную связь между данными гражданина и итоговым решением [7].

Наиболее близкая к рассматриваемой проблеме действующая норма содержится в ст. 16 Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных». Закон ограничивает принятие на основании исключительно автоматизированной обработки персональных данных решений, порождающих юридические последствия для субъекта или иным образом затрагивающих его права и законные интересы, и предусматривает обязанность оператора разъяснить порядок принятия такого решения, его возможные последствия и порядок защиты прав.

Данная конструкция имеет принципиальное значение, поскольку уже содержит три необходимых элемента: специальное регулирование автоматизированного решения, информационную обязанность оператора и возможность возражения со стороны человека. Вместе с тем сфера ее применения ограничена обработкой персональных данных.

На уровне стратегического регулирования более широкий подход закреплен в Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. В ее действующей редакции прозрачность раскрывается через объяснимость работы ИИ и процесса достижения им результатов. Тем самым проблематика выводится за пределы персональных данных и связывается с общими принципами применения ИИ.

Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг» закрепляет механизмы электронного взаимодействия и досудебного обжалования решений и действий органов, предоставляющих услуги. Для алгоритмической подотчетности это означает сохранение адресата жалобы — соответствующего публичного органа. Вместе с тем из действующей модели не следует общая обязанность сообщать гражданину, применялась ли автоматизированная система, какие сведения были положены в основу результата и имело ли место содержательное рассмотрение должностным лицом.

Особое значение для темы алгоритмической подотчётности имеют цифровые административные регламенты предоставления государственных услуг. Их правовая природа состоит в том, что административная процедура переводится в формализованную модель, пригодную для исполнения в информационной системе: заранее определяются состав административных действий, сроки, основания для отказа, межведомственные запросы и результат услуги.

Новеллы регулирования связаны с принятием Федерального закона от 26 июля 2026 г. № 243-ФЗ «О поддержке развития технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации». Его положения, затрагивают регулирование отношений, связанных с большими фундаментальными моделями ИИ, и предусматривают требования к безопасности, правилам эксплуатации и технической документации таких моделей. Данные положения создают предпосылки для последующего аудита и оценки рисков. Вместе с тем предмет закона преимущественно связан с развитием и поддержкой технологий, а не с административной процедурой. Он не закрепляет общего права гражданина знать о применении ИИ при принятии публичного решения, получить объяснение индивидуального результата и потребовать пересмотра с участием должностного лица.

Отметим, что основная часть положений указанного Федерального закона начинает действовать с 1 сентября 2026 г., при этом ряд норм, имеющих непосредственное значение для рассматриваемой темы, вступает в силу позднее. В частности, обязанности разработчиков суверенных и национальных больших фундаментальных моделей ИИ по обеспечению безопасности, определению правил эксплуатации и ведению технической документации начинают действовать с 1 марта 2027 г.

Таким образом, действующее регулирование характеризуется не отсутствием правил как таковых, а их фрагментарностью. Одни нормы ориентированы на персональные данные, другие – на стратегические принципы развития ИИ, третьи – на организацию цифровой услуги или безопасность модели. Исследователями проблем применения ИИ справедливо отмечается, что российское регулирование в значительной степени тяготеет к европейской модели разрешения проблемы «черного ящика», в которой исходной точкой выступает защита субъекта персональных данных [8]. Однако для публичной власти подобной логики недостаточно: алгоритмическое решение затрагивает также равенство, свободу информации, право на обращение и судебную защиту. В связи с чем объектом регулирования должна становиться не только технология или данные, но и сама процедура алгоритмического осуществления публичной функции.

Конституционно-правовой стандарт подотчетности

Алгоритмическая подотчетность публичной власти выводится из совокупности конституционных положений. Свобода информации предполагает возможность получить сведения, необходимые для понимания действий государства; равенство требует исключать необоснованное различие в обращении с лицами, оказавшимися в сопоставимой ситуации; право на обращение и судебную защиту предполагает реальную, а не формальную возможность оспорить решение. В цифровой среде указанные гарантии сохраняют свое содержание, но требуют дополнительных процедурных механизмов.

Первым элементом такого стандарта должно стать раскрытие факта применения алгоритмической системы. Гражданин не обязан самостоятельно устанавливать, каким образом

государственный орган пришел к результату. Если автоматизированная обработка существенно повлияла на решение, это обстоятельство должно быть обозначено в самом решении либо в доступной информации о процедуре.

Вторым элементом выступает объяснимость юридически значимого результата. Для гражданина она предполагает предоставление информации, достаточной для понимания того, какие юридически значимые факты и данные повлияли на решение, а также каким образом соответствующие сведения или итоговый результат могут быть оспорены. Подобная конструкция соответствует общему подходу, при котором алгоритмическое администрирование рассматривается как осуществление публичной власти и, следовательно, подчиняется требованиям законности и проверяемости [9].

Третьим элементом является возможность пересмотра с участием должностного лица. Автоматизация не должна лишать гражданина доступа к ответственному должностному лицу в тех случаях, когда решение затрагивает право, устанавливает обязанность, влечет отказ в предоставлении публичного блага.

Четвертый элемент – проверка на недискриминационность. Алгоритмическая система может формально применять одинаковые правила, но приводить к различающимся последствиям из-за структуры данных или способа классификации. Поэтому оценка воздействия на равенство должна проводиться не только на стадии разработки, но и в процессе эксплуатации системы, с возможностью корректировки правил при выявлении устойчивого необоснованного эффекта.

Наконец, пятым и системообразующим элементом является ответственность органа публичной власти за результат. Внутреннее распределение обязанностей между органом, оператором платформы, разработчиком и поставщиком данных не должно перекладываться на гражданина. Если цифровая система используется для реализации компетенции конкретного органа, именно этот орган должен обеспечивать объяснение, пересмотр и восстановление нарушенного права [10].

Перечисленные требования образуют минимальный, а не исчерпывающий стандарт. По мере расширения применения ИИ он может дополняться обязательным документированием алгоритмических процедур, аудитом высокорисковых систем, специальными требованиями к качеству данных и независимым контролем.

Выводы

Переход к платформенной модели публичного управления делает алгоритмическую подотчетность самостоятельной конституционно-правовой проблемой. Ее содержание не сводится исключительно к защите персональных данных или к требованиям безопасности ИИ. Предметом защиты становится способность гражданина понять юридически значимое действие государства, проверить его основания и добиться пересмотра.

Действующее российское регулирование уже содержит отдельные элементы будущего механизма: ограничения исключительно автоматизированных решений, стратегическое требование прозрачности ИИ и процедуры обжалования государственных услуг. Дополнительные требования в отношении больших фундаментальных моделей закреплены Федеральным законом № 243-ФЗ. Вместе с тем указанные нормы развиваются в разных правовых режимах и пока не образуют целостного стандарта для публичной власти.

По нашему мнению, дальнейшее развитие цифрового законодательства должно идти по пути кодификации для закрепления минимального стандарта алгоритмической подотчетности, включающего: раскрытие факта применения алгоритма; объяснение причин конкретного юридически значимого результата; возможность пересмотра с участием должностного лица; проверку алгоритмических систем на недискриминационность; сохранение конечной ответственности компетентного органа публичной власти. Именно такая конструкция позволяет совместить преимущества автоматизации с конституционным требованием приоритета прав и свобод человека.

Список литературы

1. GovTech Maturity Index 2025: Tracking Public Sector Digital Transformation Worldwide // World Bank. – Washington, DC : World Bank, 2025. – DOI: 10.1596/44136.

2. Digital Government Index and Open, Useful and Re-usable Data Index: 2025 Results and Key Findings / OECD // OECD Working Papers on Public Governance. – Paris : OECD Publishing, 2026. – № 90. – DOI: 10.1787/6347ec74-en.

3. Комарова, В. В. Правовой статус человека в цифровой среде: взгляд конституциониста / В. В. Комарова // Образование и право. – 2022. – № 2. – С. 38–46. – DOI: 10.24412/2076-1503-2022-2-38-46.

4. Варлен, М. В. LegalTech в сфере конституционно-правового регулирования : учебное пособие / М. В. Варлен. – Москва : Проспект, 2026. – 96 с. – ISBN 978-5-392-45575-1.

5. Artificial Intelligence in the Public Sector // OECD Observatory of Public Sector Innovation. – URL: https://oecd-opsi.org/work-areas/ai/ (дата обращения: 19.05.2026).

6. Возможности применения искусственного интеллекта в государственном управлении и юридические экспертизы : монография / Э. В. Талапина, В. Н. Южаков, А. А. Ефремов, И. А. Черешнева. – Москва : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2022. – 190 с. – ISBN 978-5-85006-416-7. – URL: https://znanium.com/catalog/product/1964946 (дата обращения: 19.05.2026).

7. Буньков, А. В. Правовые проблемы внедрения ИИ-технологий в систему государственного управления и администрирования: российский и международный опыт / А. В. Буньков, Д. А. Репин, П. Е. Щеголев // Социология и право. – 2025. – Т. 17, № 3. – С. 386–396.

8. Искусственный интеллект и право: от фундаментальных проблем к прикладным задачам : монография / Д. Л. Кутейников, О. А. Ижаев, С. С. Зенин, В. А. Лебедев; Тюменский государственный университет, Институт государства и права. – Тюмень : Тюменский государственный университет, 2022. – 130 с.

9. Coglianese C., Lobel O. Algorithmic Administration as Constitutional Governance // The Oxford Handbook of Digital Constitutionalism. – Oxford : Oxford University Press, 2024. – DOI: 10.1093/oxfordhb/9780198877820.013.27.

10. De Gregorio G., Radu R. Digital Constitutionalism in the New Era of Internet Governance // International Journal of Law and Information Technology. – 2022. – Vol. 30, № 1. – P. 68–87. – DOI: 10.1093/ijlit/eaac004.

УДК 351

ТРОЙСТВЕННЫЙ СОЮЗ: КАК В РОССИИ ПОДДЕРЖИВАЮТ МСП И К ЧЕМУ ЭТО ПРИВОДИТ

Петухова А.С., генеральный директор компании «Семантика», эксперт комитета Государственной Думы по МСП и МТК, г. Москва, Россия;
E-mail: anna@semantik-a.ru

TRIPLE ALLIANCE: HOW RUSSIA SUPPORTS SMEs AND WHAT IT LEADS TO

Petukhova A.S., General Director of Semantika LLC, Expert of the State Duma Committee on SMEs and MTC, Moscow, Russia;
E-mail: anna@semantik-a.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается роль государственных мер поддержки в развитии малого и среднего предпринимательства на примере города Москвы. Приводятся примеры

региональных мер поддержки и результаты их внедрения как доказательство возможности адаптации практики с сохранением положительного эффекта.

Актуальность темы определяется стратегической значимостью сектора малого и среднего предпринимательства (МСП) для экономики, где обеспечение устойчивого роста обуславливается использованием эффективных инструментов стимулирования как один из ведущих факторов. Основная проблема выражена недостатком исследований механизмов, с помощью которых происходит внедрение технологических инноваций в деятельность субъектов МСП за счет государственной поддержки.

Цель работы – проанализировать формирование новой экосистемы доступа МСП к технологическим инновациям, фокусируясь на роли экспертных инициатив, государственно-частного партнерства и специализированных технологических решений.

Методология исследования включает критический анализ данных Доклада Минэкономразвития РФ о состоянии МСП (2019–2025 гг.), публикаций в деловой прессе и количественный анализ панельных данных по Москве (2019-2025 гг.) с применением корреляционного анализа и построения линейной регрессии.

Результаты исследования демонстрируют системный переход от оказания общих финансово-инфраструктурных услуг к построению целевой «логистической цепочки» технологического роста, подтвержденный сильной положительной корреляцией между ростом числа субъектов МСП и увеличением занятости. Статья также подчеркивает важность укрепления взаимодействия государства и бизнеса для развития предпринимательства.

Ключевые слова: государственная поддержка, малое и среднее предпринимательство, МСП, инновации, технологическое развитие, Москва, экосистема, экспертные инициативы

Abstract

This article examines the role of state support measures in the development of small and medium-sized enterprises using the example of Moscow. The relevance of the topic is determined by the strategic importance of the Small and Medium-sized Enterprises (SME) sector for the economy, where ensuring sustainable growth is conditioned by the use of effective incentive instruments as one of the leading factors.

Examples of regional support measures and the results of their implementation are provided as evidence of the possibility of adapting practices while preserving their positive effect.

The main problem is expressed by the lack of research into the mechanisms by which technological innovations are introduced into the activities of SMEs through state support. The aim of the paper is to analyze the formation of a new ecosystem for SME access to technological innovations, focusing on the role of expert initiatives, public-private partnerships, and specialized technological solutions.

The research methodology includes a critical analysis of data from the Ministry of Economic Development of the Russian Federation report on the state of SMEs (2019–2025), publications in the business press, and quantitative analysis of panel data for Moscow (2019-2025) using correlation analysis and linear regression.

The results of the study demonstrate a systemic transition from providing general financial and infrastructure services to building a targeted "logistics chain" of technological growth, confirmed by a strong positive correlation between the growth in the number of SMEs and increased employment. The article also emphasizes the importance of strengthening state-business interaction for the development of entrepreneurship.

Keywords: State support, small and medium-sized enterprises, SMEs, innovations, technological development, Moscow, ecosystem, expert initiatives

Введение

Значимость технологической трансформации малого и среднего предпринимательства (далее – МСП) для обеспечения национальной конкурентоспособности и импортозамещения

не подвергается сомнению в современных экономических исследованиях [1]. Однако ключевой проблемой остается разрыв между наличием передовых разработок и их реальным применением в практике свыше 6 млн малых предприятий России. Традиционные меры поддержки, сфокусированные на финансовой и общей инфраструктурной помощи, часто не решают проблему недостатка специализированных знаний и адаптированных решений.

Как отмечают эксперты, в 2025 г. менее 40% российских компаний были готовы рассматривать внедрение ИИ [8], однако запрос на технологии формируется стремительно. При этом ключевым вызовом становится не отсутствие спроса, а отсутствие эффективных каналов дистрибуции инноваций и механизмов их адаптации под нужды предприятий.

Целью данного исследования является анализ новой формирующейся модели, в которой доступ к инновациям обеспечивается не через прямое субсидирование, а через создание многоуровневой экосистемы с экспертно-аналитическим ядром.

В работе проверяется центральная гипотеза: комплексные меры государственной поддержки (финансовые, инфраструктурные, регуляторные) приводят к статистически значимому позитивному сдвигу в развитии сектора МСП. Этот сдвиг проявляется не только в росте абсолютных показателей (количество предприятий, занятость), но и в качественной трансформации его структуры: повышении доли индивидуальных предпринимателей (как индикатора снижения барьеров входа), росте числа социальных и технологически ориентированных предприятий, а также в усилении корреляции между количеством бизнесов и создаваемыми ими рабочими местами. Проверка гипотезы осуществляется через призму синергии экспертных инициатив, обновленной государственной инфраструктуры и коммерческих технологических партнерств, что создает устойчивый конвейер для технологического роста МСП, переводя инновации из категории «сложно и дорого» в статус доступного актива [3].

Методология исследования

Методологическую основу составил комплексный подход, сочетающий несколько методов:

1. Анализ вторичных данных и документов: изучен Доклад Минэкономразвития России о состоянии МСП, содержащий статистику за 2019–2025 гг. и планы до 2030 г. (объемы финансирования, инфраструктурные показатели) [4]. Проанализированы публичные материалы о деятельности проектной группы при Госдуме по цифровизации МСП, отчеты центров «Мой бизнес», а также кейсы и аналитика в изданиях Forbes, РБК и «Эксперт» [4, 5, 6, 7].

2. Институциональный анализ: исследованы новые организационные формы (экспертные группы, платформы кооперации) и их роль в снижении транзакционных издержек при внедрении технологий.

3. Количественный эмпирический анализ: для верификации гипотезы о влиянии мер поддержки проведен статистический анализ панельных данных по г. Москве, как наиболее полному и репрезентативному региональному срезу. Использованы данные Единого реестра субъектов МСП по состоянию на 10 января каждого года с 2019 по 2025 гг. Анализ включал:

– расчет абсолютных и относительных изменений ключевых показателей;

– определение структурных сдвигов в составе сектора (доля ИП/юридических лиц, распределение по размерам);

– корреляционный анализ (коэффициент Пирсона) для выявления взаимосвязей между динамикой количества субъектов МСП, среднесписочной численностью работников и числом вновь созданных предприятий;

– построение модели простой линейной регрессии для оценки зависимости общей занятости (зависимая переменная Y) от общего количества субъектов МСП (независимая переменная X), позволяющей количественно оценить вклад одного предприятия в создание рабочих мест.

4. Кейс-стади: на основе доступных публичных данных систематизированы и проанализированы успешные практики внедрения, иллюстрирующие работу всей экосистемы (цифровизация производства, выход на рынок стартапов).

Эмпирическая верификация гипотезы: статистический портрет МСП Москвы (2019-2025 гг.)

Для проверки гипотезы о позитивном влиянии мер поддержки на развитие бизнеса обратимся к детальным данным по Москве, которая концентрирует около 13-14% всего российского сектора МСП и является флагманом внедрения новых инструментов поддержки. Анализ данных Единого реестра за 2019-2025 гг. выявляет четкие тренды, подтверждающие структурную трансформацию [5].

Динамика ключевых показателей и структурные сдвиги могут быть отражены в табл. 1.

Таблица 1

Динамика ключевых показателей и структурные сдвиги

Показатель	2019	2025	Абсолютный прирост	Относительный прирост (%)	Среднегодовой темп роста (%)
Всего субъектов МСП	748 354	914 792	+166 438	+22.2%	+3.4%
в т.ч. юридические лица	463 943	428 074	-35 869	-7.7%	-1.3%
в т.ч. индивидуальные предприниматели	284 411	486 718	+202 307	+71.1%	+9.4%
Среднесписочная исленность	2 140 718	2 459 551	+318 833	+14.9%	+2.3%
Социальные предприятия	0	402	+402	–	– (рост с 2020 г.)
«Вновь созданные» (ежегодный показатель)	149 642	149 837	~0	~0%	~0% (высокая оборачиваемость)

Источник: составлено автором.

Анализ динамики

1. Количественный рост на фоне структурной перестройки: общее число субъектов МСП в Москве выросло на 22,2%. Однако за этим ростом скрывается кардинальный структурный сдвиг: численность юридических лиц сократилась на 7,7%, в то время как количество индивидуальных предпринимателей (ИП) возросло на 71,1%. Доля ИП в общем количестве МСП увеличилась с 38% в 2019 г. до 53% в 2025 г. Этот тренд напрямую коррелирует с введением и популяризацией специальных налоговых режимов (прежде всего, налога на профессиональный доход), массовой цифровизацией регистрационных и отчетных процедур, а также целевых мер поддержки самозанятых и микробизнеса. Гипотеза о снижении барьеров входа для малых форм бизнеса находит убедительное подтверждение.

2. Динамика занятости и структурные изменения

За исследуемый период среднесписочная численность занятых в московском секторе МСП прибавила 14,9% – с 2,14 до 2,46 млн человек. Однако прирост рабочих мест оказался скромнее, чем увеличение общего числа субъектов (22,2%). Такое расхождение можно трактовать двояко. С одной стороны, оно может сигнализировать о росте производительности в пересчёте на одну компанию. С другой – и для Москвы этот вариант выглядит убедительнее – мы имеем дело с эффектом бурного расширения микробизнеса и ИП, где штаты изначально минимальны или вовсе отсутствуют.

Обращает на себя внимание и другой факт: сокращение количества юрлиц на 7,7% не помешало занятости демонстрировать положительную динамику. Это позволяет предположить, что ресурсы перераспределялись в пользу более устойчивых и эффективных компаний, которые сумели адаптироваться к изменившимся условиям и упрочили свои позиции.

3. Зарождение новых секторов

Отдельного внимания заслуживает сегмент социальных предприятий. В 2019 г. таких субъектов в Москве просто не существовало, а к 2025-му их насчитывалось уже 402. Эта цифра – прямое следствие законодательных новаций 2020 г. и запуска специализированных программ поддержки. Сам по себе этот случай показателен: как только появляются адресные регуляторные и финансовые механизмы, они незамедлительно порождают новый пласт бизнеса, пусть пока и не самый многочисленный, но качественно иной по своей природе.

4. Корреляционный и регрессионный анализ

Чтобы проверить выдвинутые предположения более строго, мы рассчитали парные коэффициенты корреляции Пирсона для основных переменных за семь лет.

Связь между числом субъектов МСП и общей занятостью оказалась практически линейной и очень тесной: R = 0,97. Иными словами, расширение бизнес-среды в столице почти автоматически оборачивается созданием дополнительных рабочих мест.

Корреляция между количеством ИП и занятостью также высока (R = 0,93). Это развенчивает распространённый стереотип о том, что индивидуальные предприниматели будто бы играют второстепенную роль на рынке труда – напротив, их вклад вполне сопоставим с весом более крупных структур.

Корреляция между ежегодным числом вновь созданных предприятий и итоговым приростом их общего числа низка. Причина проста: сектор отличается высокой турбулентностью. Каждый год открывается порядка 150 тыс. новых фирм, но чистый прирост оказывается гораздо скромнее из-за параллельного закрытия других. Это напрямую указывает на слабое место существующей политики: поддержка нужна не столько на этапе старта, сколько на этапе удержания бизнеса на плаву в первые годы, когда риск прекращения деятельности максимален (средний «возраст» московского МСП – 5,4 года).

Обнаруженная тесная взаимосвязь между количеством предприятий и занятостью позволила построить линейную регрессионную модель, где Y – это совокупная среднесписочная численность работников всех МСП, а X – общее количество субъектов МСП.

Полученное уравнение выглядит так: $Y = 2{,}74 \cdot X + 680\,000$

Коэффициент при X (2,74) интерпретируется следующим образом: каждое дополнительное предприятие в среднем даёт прирост общей занятости примерно на 2,74 человека. Эта оценка хорошо стыкуется с прямой арифметикой: если разделить общую численность занятых на количество субъектов, получим 2,86 в 2019 г. и 2,69 в 2025-м. Так что даже с учётом сдвига в сторону микробизнеса и ИП вклад одного субъекта в занятость остаётся ощутимым.

Что касается свободного члена (680 000), то он не несёт самостоятельного экономического смысла. При нулевых значениях X никакой занятости быть не может, и эта цифра – не более чем математический артефакт, возникший из-за того, что мы экстраполируем модель за пределы реального диапазона данных (в выборке X колебался в коридоре от 748 до 915 тысяч). Константа корректирует положение линии тренда для максимально точного приближения к фактическим точкам. Сама модель демонстрирует высокое качество подгонки ($R^2 > 0{,}94$), что делает её вполне надёжным инструментом для выводов подобного рода.

5. Коэффициент регрессии (2,74) интерпретируется следующим образом: увеличение общего количества субъектов МСП в Москве на 1 единицу связано, в среднем, с увеличением общей численности работников на 2.74 человека. Учитывая доминирование микропредприятий (94.6%), это реалистичная оценка, которая показывает, что даже микро-бизнес в столице создает в среднем почти 3 рабочих места. Модель обладает высокой объясняющей способностью ($R^2 > 0{,}94$), подтверждая надежность вывода.

Вывод по эмпирическому анализу: данные по Москве за 2019-2025 гг. подтверждают выдвинутую гипотезу. Наблюдается не просто рост, а качественная трансформация сектора МСП под воздействием мер поддержки: опережающий рост наиболее гибкой формы (ИП),

появление новых сегментов (социальные предприятия), сохранение тесной связи между количеством бизнесов и занятостью. Высокая турбулентность указывает на область для дальнейшего совершенствования политики – смещение фокуса с помощи в создании на помощь в выживании и масштабировании.

Экспертное ядро экосистемы: от идеи к стандарту

Вероятно, что формирование в 2024 г. при комитете Госдумы по цифровому развитию проектной группы по цифровизации МСП стало поворотным моментом, институционализировавшим экспертизу. В отличие от традиционных советов или рабочих групп, эта структура изначально создавалась с прикладной, а не концептуальной целью. Ее состав принципиально отличался: ядро составили практикующие IT-архитекторы, руководители успешно оцифрованных компаний из сектора МСП, ведущие технологические евангелисты.

Основным продуктом деятельности группы стали не отчеты, а прикладные инструменты и стандарты, которые напрямую адресуют выявленные в статистическом анализе проблемы – высокую сложность и транзакционные издержки внедрения:

– Методика экспресс-аудита цифровой зрелости МСП. Чек-листы как упрощенная форма дорожных карт используются в качестве первого касания в центрах «Мой бизнес». Простой чек-лист из 50 ключевых пунктов позволяет за 1-2 часа диагностировать уровень технологического развития компании и выдать первоочередные рекомендации по внедрению CRM, ERP или BI-систем, что снижает «порог входа» в цифровизацию для малых предприятий;

– Отраслевые «цифровые конструкторы». Для секторов ритейла, общепита и типовых услуг были разработаны наборы обязательных и рекомендуемых цифровых решений. Это системный ответ на проблему адаптации, превращающий хаотичный поиск решений в структурированный выбор из проверенных опций;

– «Дорожные карты» интеграции с госкомпаниями. Эксперты проработали типовые регламенты и технические требования для малых поставщиков, желающих участвовать в закупках госкорпораций, что упростило доступ к объему закупок в 62,4 трлн рублей, запланированных до 2030 года. Это мера, направленная на снижение асимметрии информации и повышение конкурентоспособности МСП.

Экспертная группа, таким образом, выполняет роль системного интегратора и транслятора: она агрегирует разрозненные запросы тысяч предпринимателей (включая выявленную в данных массу ИП), трансформирует их в конкретные требования к разработчикам софта и регуляторные инициативы, а затем «упаковывает» готовые решения в понятные форматы для конечного пользователя, сокращая тем самым «разрыв внедрения».

Инфраструктура внедрения: трехуровневая модель доступа

Экспертные инициативы получают реализацию через обновленную трехуровневую инфраструктуру поддержки, которая выступает физической и цифровой платформой для реализации выявленных статистикой трендов роста.

1. Центры «Мой бизнес» и платформа-навигатор МСП.РФ. Из консультационных окон государственная поддержка трансформируется в цифровые хабы. Если в 2019-2024 гг. оказано 2,9 млн услуг, то к 2030 г. планируется увеличение охвата до 1,3 млн предпринимателей в год за счет комбинированных технологичных услуг. Именно эти центры становятся первой точкой контакта для сотен тысяч вновь созданных ИП и микропредприятий, помогая им не только с регистрацией, но и с первыми шагами в цифровизации, что потенциально может снизить высокую турбулентность сектора.

2. Промышленные парки и технопарки – среда для технологического рывка. В планах до 2030 г. – создать 100 новых парков и привлечь в них 2,2 тыс. резидентов-субъектов МСП. При этом современный технопарк – это экосистема, которая предполагает доступ к высокотехнологичному оборудованию, инженерным компетенциям и, что критически важно, к закрытым пилотным средам крупных корпораций. По задумке стартап может протестиро-

вать свое решение на реальном промышленном контуре заказчика. Эта инфраструктура ориентирована на качественное изменение малого бизнеса – переход от торговли к производству и высоко технологичным услугам.

3. Центры поддержки экспорта – шлюз для глобального масштабирования. Технологичные МСП, прошедшие этап внедрения, нуждаются в выходе на международный рынок. Центры, содействовавшие заключению внешнеэкономических контрактов на 9,2 млрд долларов США, теперь оказывают помощь в цифровом продвижении: настройке зарубежной рекламной аналитики, SEO-оптимизации, использовании блокчейн-трекеров для логистики. Это завершающее звено цепочки, выводящее инновацию на глобальный уровень и способствующее росту выручки и устойчивости компаний.

Анализ результативности и успешные кейсы

Об эффективности складывающейся экосистемы свидетельствуют не только сводные статистические данные, но и живые примеры компаний, прошедших все этапы – от первичного запроса до практического внедрения технологических решений при участии экспертного и инфраструктурного контура.

Макроуровень

Если смотреть на общероссийскую картину, то по итогам 2025 г. реестр субъектов МСП впервые превысил отметку 6,84 млн. Эта цифра была озвучена председателем Правительства Михаилом Мишустиным в ходе отчёта перед Государственной Думой в феврале 2026 г. и признана максимальной за всю историю ведения реестра. Необходимо пояснить: в рамках данного исследования мы анализируем данные по Москве, где число субъектов МСП составляет около 915 тыс. (примерно 13% от общероссийского пула). Именно поэтому у читателя, знакомого с федеральной статистикой, может возникнуть вопрос о расхождении цифр, однако здесь нет противоречия, просто разные уровни агрегации данных.

За шесть лет реализации предшествующего национального проекта (2019–2024) центрами «Мой бизнес» было оказано 2,9 млн услуг, под поручительства гарантийных организаций привлечено 1,6 трлн руб. финансирования, а 19,1 тыс. малых и средних предприятий впервые вышли на внешние рынки. Эти показатели говорят о том, что бизнес-сообщество в целом позитивно воспринимает предлагаемые механизмы и активно ими пользуется.

Особого внимания заслуживают отдельные приоритетные группы. Малые технологические компании (МТК) демонстрируют доходность, которая в 6 раз превышает средний уровень по сектору МСП. Сектор креативных индустрий за тот же период разросся до 405,7 тыс. субъектов – это ещё одно подтверждение того, что точечные меры дают измеримый результат.

Вместе с тем системные проблемы никуда не исчезли. Исследователи фиксируют перекос в сторону административного регулирования, падение потребительского спроса и усиливающуюся зависимость предпринимателей от льгот и субсидий. Эти сюжеты стали предметом острой дискуссии на экспертной площадке ВШЭ в ноябре 2025 г., где представители как академического сообщества, так и Министерства финансов высказали обеспокоенность постепенным отходом от принципов рыночного саморегулирования. Здесь важно подчеркнуть: критика не отрицает достигнутых успехов, но указывает на риски, связанные с сохранением сверхвысокой доли государства в экономических процессах. Именно поэтому с 2025 г. вектор поддержки смещается от экстренного антикризисного реагирования (актуального в период 2019–2024 гг.) к адресному отраслевому стимулированию – с фокусом на обрабатывающую промышленность, IT-сектор, туризм и научно-техническую деятельность. По сути, речь идёт о переходе от политики «спасения» к политике «выращивания» устойчивых бизнес-моделей, способных функционировать без постоянной бюджетной подпитки.

Микроуровень

1. Кейс: внедрение ИИ-решений для оптимизации логистики малым производственным предприятием (ООО «Производственная компания “Контур”», г. Ижевск) [9].

– Проблема: предприятие, выпускающее металлоконструкции, сталкивалось с высокими затратами на логистику и планирование маршрутов доставки, что съедало до 15% маржи.

– Путь через экосистему: в центре «Мой бизнес» руководству компании порекомендовали обратиться в акселератор для внедрения технологий Индустрии 4.0, организованный при участии экспертного сообщества Удмуртской Республики и ИТ-вуза. В рамках акселератора была предоставлена грантовая субсидия в 3 млн рублей на пилотный проект. Эксперты помогли сформулировать ТЗ, а в качестве технологического партнера была привлечена местная IT-компания-резидент технопарка.

– Решение и результат: внедрена облачная ИИ-платформа для динамического планирования маршрутов. Итог за первый год: экономия на логистических расходах – 18%, увеличение количества выполненных заказов – на 22%.

2. Кейс: цифровая трансформация и выход на маркетплейсы для производителя продуктов здорового питания (ИП Смирнов, Воронежская область) [10].

– Проблема: локальный производитель не мог масштабировать сбыт за пределы региона. Отсутствовали компетенции в цифровом маркетинге.

– Путь через экосистему: предприниматель прошел курс «Цифровой фермер» в центре «Мой бизнес», разработанный совместно с экспертами НАУЭТ. Далее получил микрозайм в 1.8 млн рублей по льготной программе.

– Решение и результат: компания прошла полную адаптацию к цифровизации, запущены продажи на Wildberries и Ozon. Итог: выручка от онлайн-продаж составила более 15 млн рублей (40% от общей), география поставок расширилась на 43 региона.

3. Кейс: создание и коммерциализация deep-tech решения стартапом на базе университетского технопарка (Стартап «Нейротех», г. Томск) [11].

– Задача: команда ученых разработала прототип нейроинтерфейса, но не имела ресурсов для коммерциализации.

– Путь через экосистему: команда стала резидентом бизнес-инкубатора «Технопарк ТПУ». С помощью менторов выиграла грант Фонда содействия инновациям (500 тыс. рублей), затем привлекла венчурные инвестиции в 12 млн рублей.

– Решение и результат: создан промышленный образец, подписаны первые коммерческие контракты. Оценка компании достигла 80 млн рублей.

Каждый кейс наглядно иллюстрирует работу единого механизма, где ключевую роль играет связка институтов (рис. 1). Пошаговый переход, начиная с выявления потребности, и заканчивая возможности внедрения, позволяет обобщить запросы, но также расширить зоны ответственности.

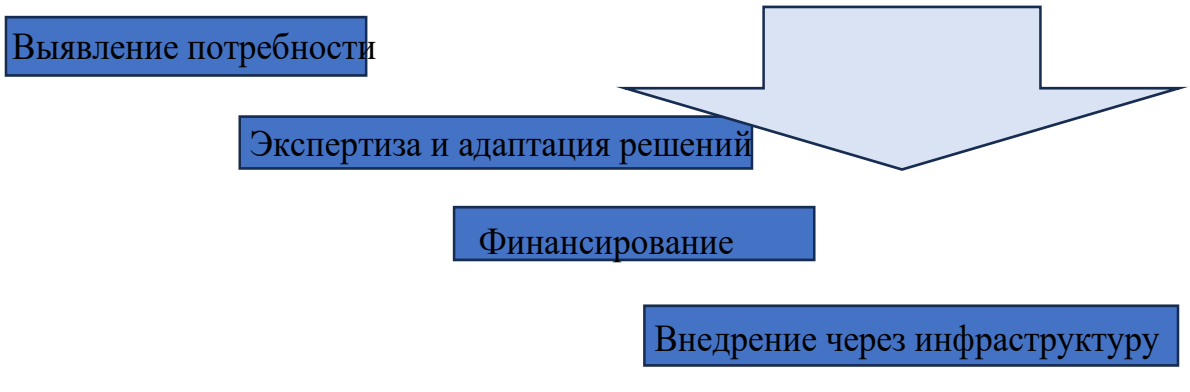


Рис. 1. Механизм связки институтов в мерах поддержки

Источник: составлено автором.

Таким образом, подтверждается ключевой тезис о том, что именно системная поддержка, а не разрозненные меры, создает возможность для реального технологического рывка МСП.

Оценка потенциального влияния и рисков на развитие МСП в рамках ГЧП

Создание институтов развития, таких как «Развивай.РФ» [7], стало логичным продолжением экосистемного подхода, перенося его логику на уровень крупных инфраструктурных проектов. Так, среди достижений: стандартизация процедур и создание «единого окна», которые снизили транзакционные издержки для МСП-поставщиков на 30%, увеличение портфеля проектов (более 4400 соглашений на 7,5 трлн руб., 72% – частные инвестиции 5,4 трлн руб.) и формирование единого методического центра.

Среди рисков: наблюдается, что усиление роли федерального института ограничило региональную инициативу в 15% случаев, а масштабирование привело к удлинению внутренних процедур на 10-15%. К тому же сохраняется субъективная селективность с фокусом на крупные стратегические проекты, которые оставили на периферии малые локальные инициативы.

ГЧП – механизм, который обеспечивает мультипликативный эффект (1 руб. бюджетных вложений привлекает 3-4 руб. частного капитала), стимулируя рост ВВП через инфраструктурные инвестиции. Социальный эффект от ГЧП мониторится ВЭБ.РФ. Портфель ГЧП на сумму 7,5 трлн руб. повышает качество жизни на 30-40%, что в конечном итоге создает более благоприятную среду и для малого бизнеса [7].

Однако видимо растущие цифры подлежат критическому осмыслению. Стоимость >50% проектов, вводимых до конца 2025 г., выросла на 20-40% из-за удорожания материалов и структурных изменений, что привело к рискам срыва (например, проект поликлиник в Новосибирске). Еще одна проблема заключается в том, что новые бюджетные лимиты запрещают ГЧП в дотационных регионах при риске дополнительных расходов, блокируя до 20-30% потенциальных соглашений. Санкции усиливают асимметрию рисков: частные инвесторы выходят, а нагрузка ложится на бюджеты субъектов.

Заключение

Проведенный анализ, дополненный эмпирической верификацией на данных Москвы, позволяет утверждать, что в России формируется уникальная экосистема доступа МСП к технологиям, основанная на кооперации экспертного знания, государственной инфраструктуры и коммерческих IT-решений. Выдвинутая гипотеза о позитивном влиянии мер поддержки на качественное развитие бизнеса находит подтверждение. Данные по Москве демонстрируют:

– устойчивый количественный рост сектора (22,2% за 6 лет) на фоне роста занятости (14,9%);

– глубокий структурный сдвиг в пользу индивидуального предпринимательства (рост ИП на 71,1%), что свидетельствует о снижении барьеров входа и эффективности целевых мер;

– сильную статистическую связь между ростом числа предприятий и ростом занятости ($R \approx 0,97$), при этом одно новое предприятие в среднем «генерирует» 2,74 рабочих места;

– появление новых качественных сегментов (социальные предприятия) как прямого отклика на введение специализированных мер поддержки.

Трехуровневая инфраструктура, включающая центры поддержки бизнеса, технопарки, экспортные центры, действует как эффективная платформа для тестирования, внедрения и масштабирования инноваций. Технологические компании-партнеры, реагируя на сформированный экспертами и инфраструктурой спрос, создают доступные, отраслевые решения, снижая порог входа для малого бизнеса.

Таким образом, технологический рост МСП становится результатом работы целостного конвейера, где каждый элемент выполняет свою функцию: эксперты диагностируют и проектируют, инфраструктура предоставляет среду, государство – финансовые стимулы

и регуляторную поддержку, а бизнес – готовые рыночные решения. Эта синтезированная модель открывает для российского МСП путь к системному и массовому освоению инноваций будущего.

Ограничения и направления будущих исследований: настоящее исследование выявило и ключевые вызовы. Высокая турбулентность сектора (массовое создание и закрытие предприятий) требует смещения исследовательского фокуса на анализ эффективности мер по повышению выживаемости бизнеса, особенно в первые 3-5 лет. Кроме того, необходимы сравнительные межрегиональные исследования для оценки диффузии успешных практик из Москвы в другие субъекты РФ. Структурные риски ГЧП, такие как удорожание проектов, централизация и санкционное давление, требуют отдельного глубокого анализа для минимизации их негативного влияния на среду, в которой оперируют МСП. Дальнейшая эффективность экосистемы будет зависеть от нахождения баланса между централизованной координацией и региональной гибкостью, а также от способности адаптировать инструменты поддержки к быстро меняющимся внешним условиям.

Список литературы

1. Gokhberg, L., et al. (2023). Innovation-oriented SME Development: Strategies and Policies. Springer.

2. Косов, М. Э. Влияние санкций на финсектор / М. Э. Косов // finjournal-nifi.ru. – 2025. – № 4.

3. Манахова, И. В. Цифровая трансформация малого и среднего бизнеса в России: вызовы, перспективы и роль государственной поддержки / И. В. Манахова, А. Д. Белоглазов // Российский экономический журнал. – 2023. – № 5. – С. 112–124. – URL: https://doi.org/10.52210/0130-9757_2023_5_112.

4. Доклад о состоянии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации и мерах по его развитию за 2019, I полугодие 2025 гг. и планах на 2025–2030 годы. Минэкономразвития России. 2025.

5. Данные Единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства по г. Москве (листы 2019-2025). Федеральная налоговая служба РФ.

6. Национальный проект «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы»: итоги реализации 2019-2024 гг. // Официальный сайт Правительства РФ.

7. Национальный отчет о развитии ГЧП в России. 2025. М.: ВЭБ.РФ, 2026.

8. https://russoft.org/news/300-praktik-primeneniya-ii-rezultaty-kejsy-mneniya/

9. Официальный портал поддержки МСП Удмуртской Республики, раздел «Успешные кейсы» (https://мойбизнес18.рф/success-stories). Данные подтверждаются новостным сюжетом регионального делового издания «Деловой Интернет-Журнал “Удмуртия”» за январь 2024 года.

10. Сборник успешных практик АО «Корпорация МСП» (https://корпорация-мсп.рф/press-center/news/), а также освещался в отчете Аналитического центра НАФИ «Цифровизация малого бизнеса в регионах РФ: барьеры и драйверы» (2024 г.).

11. Материалы сайта Технопарка ТПУ (https://tpu.tomsk.ru/startup), отчеты Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК», публикация в издании «Сиб.фм» о венчурной сделке (октябрь 2023 г.).

УДК 332.024

ЦИФРОВОЙ ДАШБОРД МНОГОМЕРНОГО БЛАГОСОСТОЯНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНОМ: ОТ ТЕХНОКРАТИЧЕСКОЙ МЕТРИКИ К ABC-МОДЕЛИ

Савеличев М.В., к.э.н., заместитель руководителя по науке ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-3381-9130;
E-mail: Mikhail.Savelichev@tatar.ru

A DIGITAL DASHBOARD OF MULTIDIMENSIONAL WELL-BEING AS A TOOL FOR STRATEGIC REGIONAL GOVERNANCE: FROM TECHNOCRATIC METRICS TO THE ABC MODEL

Savelichev M.V., Candidate of Economic Sciences, Deputy Head of Science Center of Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-3381-9130;
E-mail: Mikhail.Savelichev@tatar.ru

Аннотация

Статья посвящена возможностям использования новейших технологий, включая интернет вещей (IoT), блокчейн, искусственный интеллект для повышения эффективности стратегического управления региональными системами. Отмечается, что на протяжении XX в. происходило укрепление технократического подхода к оценке экономического развития. Это привело к возникновению парадокса роста без развития, когда формальное улучшение макроэкономических показателей сопровождается ухудшением благосостояния населения. Для преодоления ограничений технократической парадигмы, сводящей экономическое развитие к росту макроэкономических параметров, предлагается ABC-модель, синтезирующая агатологию (науку о благах), концепцию возможностей А. Сена и М. Нуссбаум и системный подход П. Сенге. Практическим воплощением данной модели является проект цифрового дашборда многомерного благосостояния. Цифровой дашборд включает пять кластеров, измеряющих различные аспекты благосостояния, включая субъективное благополучие и смысловую вовлеченность, социальную справедливость и доступность возможностей, институциональное доверие, экологическую безопасность, экономические возможности. В статье анализируется архитектура такого дашборда, состав параметров благосостояния региона и населения, формы и методы мониторинга, анализа и прогнозирования их динамики с помощью новейших технологий.

Ключевые слова: цифровой дашборд, региональное управление, ABC-модель, благосостояние, технократическая парадигма, цифровизация государственного управления

Abstract

This article examines the potential of emerging technologies, including the Internet of Things (IoT), blockchain, and artificial intelligence, to enhance the effectiveness of strategic governance of regional systems. It argues that throughout the twentieth century, the technocratic approach to assessing economic development became increasingly entrenched. This led to the paradox of growth without development, whereby formal improvements in macroeconomic indicators are accompanied by a deterioration in population well-being.

To overcome the limitations of the technocratic paradigm, which reduces development to the growth of macroeconomic parameters, the paper proposes the ABC model. This model synthesizes

agathology (the study of goods), the capability approach of A. Sen and M. Nussbaum, and P. Senge's systems thinking framework. The practical implementation of this model is presented as a digital dashboard of multidimensional well-being.

The proposed digital dashboard consists of five clusters capturing different dimensions of well-being, including subjective well-being and meaningful engagement, social justice and access to opportunities, institutional trust, environmental security, and economic opportunities. The article analyzes the architecture of such a dashboard, the composition of regional and population well-being indicators, as well as the methods and tools for monitoring, analyzing, and forecasting their dynamics using advanced technologies.

Keywords: digital dashboard, regional governance, ABC model, well-being, technocratic paradigm, digitalization of public administration

1. Введение

Цифровизация государственного управления – один из наиболее значимых институциональных трендов последнего десятилетия. На протяжении этого периода существенно увеличилась доля стран, достигших высокого и очень высокого значений Индекса развития электронного правительства (EGDI) [1]. Вместе с тем, повышение уровня объективности государственного управления скрывает концептуальную проблему – усиление технократического редукционизма в управлении сложными социально-экономическими системами.

На протяжении XX в. происходило неуклонное укрепление технократической парадигмы в процессе управления экономическими системами, что выражалось в редукции экономического развития к совокупности макроэкономических параметров (ВВП, инвестиции, промышленное производство и т.д.) [2]. Электронное правительство наследует этой парадигме при том, что она вызывает все большую критику.

Так, по инициативе ООН, был опубликован доклад «Counting What Counts: A Compass of Progress for People and Planet» [3], который предлагает проект глобального дашборда, дополняющий показатель валового внутреннего продукта (ВВП) показателями благополучия, равенства, устойчивости. Согласно инициативе ООН «Beyond GDP» [4], в мире насчитывается 244 метрики благополучия, которые реализованы в 218 странах. Вместе с тем, сохраняются проблемы бесшовной интеграции экономических, этических, институциональных параметров в единую аналитическую систему.

Проблема усугубляется парадоксом «роста без развития», при котором регион, демонстрирующий высокие темпы роста валового регионального продукта (ВРП), инвестиций, промышленного производства, при этом сталкивается с тенденцией ухудшения человеческого капитала, оттоком населения, снижением институционального доверия [5].

Таким образом, система регионального управления сталкивается не с технической проблемой (какой новый набор показателей измерять?), а с концептуальным вопросом: что именно измерять и почему?

Нами предложена ABC-модель (Агатология – Возможности – Система), которая синтезирует три взаимодополняющих подхода: агатологию, разработанную в работах В. Шохина [6], концепцию возможностей А. Сена [7] и М. Нуссбаум [8], а также инструментарий системного подхода П. Сенге [9] и институциональной экологии Э. Острем [10]. Данная модель служит основанием для операционального дашборда, позволяющего динамически отслеживать развитие региональных экономических систем.

В настоящей работе исследовательский вопрос формулируется следующим образом: каковы принципы и архитектура цифрового дашборда (ЦДБ), который операционализирует многомерную ABC-модель, не сводя ее при этом к агрегированным показателям технократической парадигмы?

2. ABC-модель как концептуальный фундамент ЦДБ

ABC-модель представляет собой синтез трех взаимодополняющих оснований:

– уровень A – агатология как нормативное ядро;
– уровень B – концепция возможностей как операциональный инструментарий;
– уровень C – системное мышление и институциональная экология как динамический модуль.

Каждый уровень дополняет два других, компенсируя их ограничения, тем самым обеспечивая их синтез.

Уровень A. Основная слабость систем, стремящихся выйти за пределы технократического подхода, условно объединяемых понятием «Beyond GDP», заключается в отсутствии обоснованного единого основания для отбора индикаторов. По нашему мнению, таким основанием является ответ на вопрос: что является благом для населения региона? Ответ на него возможен в рамках науки о благе, или агатологии [6].

Согласно агатологии, блага укоренены в онтологии и телеологии человека и не сводимы к какой-либо агрегированной полезности. Исходя из этого, нормативным принципом ABC-модели является то, что при отборе индикаторов ЦДБ следует руководствоваться их онтологической значимостью.

Агатология предлагает три возможных измерения блага:

– онтологическое, охватывающее фундаментальные условия человеческой жизнедеятельности, – экологическую безопасность, культурную преемственность, институциональную устойчивость;

– этическое, обеспечивающее соответствие регионального развития принципам справедливости и добродетельности практик – доступность ресурсов, равенство возможностей, прозрачность управления;

– аксиологическое, определяющее соответствие значимости благ для самих членов регионального сообщества – субъективная оценка благополучия, смысловая вовлеченность в региональное развитие, идентификация с местом и сообществом.

Уровень B. Операциональный инструментарий ABC-модели отвечает за то, как измерять блага, и базируется на концепции возможностей А. Сена [7] и М. Нуссбаум [8]. Сен определяет развитие как расширение реальных свобод и жизненных функций людей, а Нуссбаум развивает этот подход нормативным списком 10 главных возможностей, среди которых: жизнь, телесное здоровье, телесная целостность, чувства и мышление, эмоции, практический разум, принадлежность к сообществу, отношения с другими видами, контроль над своей средой.

На основании этого подхода можно предложить для ЦДБ сформировать пять кластеров, каждый из которых соответствует определенному измерению блага:

– кластер 1 («Субъективное благополучие и смысловая вовлечённость»): индекс удовлетворённости жизнью, доля граждан, вовлечённых в культурные и гражданские практики, индекс психологического комфорта – аксиологическое измерение блага;

– кластер 2 («Социальная справедливость и доступность возможностей»): индекс социальной мобильности, коэффициент Джини, доля населения в состоянии многомерной бедности – этическое измерение блага;

– кластер 3 («Институциональное доверие и этическое качество управления»): уровень доверия к региональным институтам, индекс восприятия коррупции, показатели прозрачности и гражданского участия – этическое измерение, пять инструментальных свобод Сена;

– кластер 4 («Экологическая безопасность и устойчивость»): площадь зелёных зон на душу населения, доля возобновляемой энергии, индексы качества воды, воздуха и почвы, углеродный след регионального производства – онтологическое измерение блага;

– кластер 5 («Экономические возможности и суверенные экстерналии»): уровень и качество занятости, доля суверенных экстерналий в совокупном региональном продукте (показатели импортозамещения, локализации компетенций, снижения внешних зависимостей), доступность финансовых услуг – онтологическое и этическое измерения.

При этом важно то, что кластеры не агрегируются в единый индекс, а формируют многомерный профиль региона. Аналогичные подходы использованы в платформе ОСЭР «Regional Well-Being», охватывающей 467 регионов по 11 темам благополучия без сведения к единой метрике.

Уровень С. Динамический аспект ABC-модели обеспечивает системное мышление П. Сенге [9] и институциональная экология Э. Остром [10]. Основной вывод из их подходов состоит в том, что ЦДБ должен визуализировать так называемые петли обратных связей (ПОС) между кластерами 1-5. Подобные ПОС могут как нивелировать положительную динамику экономических показателей региона, так и усиливать их за счет синергии.

Так, например, в рамках ABC-модели рост институционального доверия (кластер 3) усиливает смысловую вовлеченность граждан (кластер 1), а это снижает уровень трансакционных издержек в регионе и создает экономические возможности. Но наряду с усиливающими ПОС существуют и балансирующие, которые могут угнетать социально-экономическое развитие региона.

Рассмотренные уровни обеспечивают вертикальную и горизонтальную взаимоувязки компонентов ABC-модели, и создает основу для ее практической реализации в форме ЦДБ.

3. Архитектура ЦДБ

ЦДБ должен включать три взаимосвязанных технологических слоя:

– слой сбора данных, включающий IoT-сенсоры и традиционную статистику;

– слой верификации данных: блокчейн;

– слой обработки и интерпретации данных: искусственный интеллект (ИИ).

3.1. Слой сбора данных: IoT-сенсоры и статистика

Создание сети IoT-сенсоров позволяет решить фундаментальную проблему традиционной статистики – ее дискретность, при том, что управленческие решения необходимо принимать непрерывно.

Сеть IoT-сенсоров позволяет обеспечить постоянный мониторинг по следующим кластерам ЦДБ:

– кластер 4 (экологическая безопасность): сенсоры качества воздуха, воды, уровня шума, углеродного следа производства;

– кластеры 1 и 5 (субъективное благополучие и экономические возможности): поведенческие прокси-индикаторы – посещаемость общественных пространств, культурных учреждений, активность городской среды. Это позволит косвенно измерять смысловую вовлеченность граждан.

При этом базовым слоем для кластеров 2 и 3 остаются традиционные статистические данные, результаты социологических исследований и опросов.

Технология интернета вещей (IoT) обеспечивает непрерывный мониторинг показателей, тем самым снижая вероятность «паллиативных» управленческих решений, когда система управления реагирует на утратившие актуальность симптомы, увеличивая накопление негативных экстерналий. IoT-подсистема ЦДБ обеспечивает непрерывный мониторинг данных по тем группам кластеров, где непрерывность критически важна (экономическая ситуация и субъективное благополучие).

3.2. Слой верификации данных: блокчейн

Использование блокчейн является архитектурным решением проблемы верификации данных, собранных через непрерывные (IoT) и дискретные (статистика, социологически опросы) источники для ЦДБ. При этом каждое значение индикатора при поступлении в систему ЦДБ фиксируется в распределенном реестре с временной меткой и уникальным криптографическим индикатором. Это не позволит задним числом менять показатели, что в целом обеспечивает прозрачность и устойчивость системы государственного и регионального управления. Аналогичные решения уже имеют прецеденты реального внедрения [11].

Функциями слоя верификации в ЦДБ являются:

– прослеживаемость истории – граждане, независимые эксперты, институты гражданского общества получают возможность не только видеть индикаторы, но и отслеживать их динамику;

– автоматизированное оповещение через смарт-контракты – автоматическое уведомление системы управления о достижении какого-либо индикатора порогового значения для принятия оперативных мер;

– криптографическая прослеживаемость источника данных «от сенсора до визуализации», что повышает устойчивость системы к несанкционированным попыткам искажения данных.

Вместе с тем, необходимо учитывать, что технологии сами по себе не формируют доверие в системе, блокчейн лишь позволяет перенести имеющийся уровень доверия в региональной системе на высокотехнологичные код и протокол, тем самым снижая транзакционные издержки поддержания уже сложившегося уровня институционального доверия.

3.3. Слой обработки и интерпретации данных: искусственный интеллект

ЦДБ должен обеспечить системе регионального управления не только ретроспективную диагностику социально-экономического развития, но и построение прогнозов и сценариев. По нашему мнению, ЦДБ должен включать три аналитических режима:

– диагностика аномальных конфигураций;

– моделирование межкластерных связей;

– интеграция неструктурированных данных.

Режим 1. Поскольку ЦДБ опирается на многомерную конфигурацию кластеров, то по изменению отдельных параметров не всегда возможно выявить опасную тенденцию.

Так, парадокс «развития без развития» проявляется в виде специфической конфигурации кластеров:

– устойчивый рост кластера 5 («Экономические возможности»);

– снижение кластеров 1 («Субъективное благополучие») и 3 («Институциональное доверие»).

Сами по себе ни одна из этих тенденций не является аномальной, но в результате их совместного действия формируется аномальная конфигурация. Для выявления подобных конфигураций и требуется искусственный интеллект. При этом перспективным методом обработки многомерных временных рядов в режиме реального времени может являться метод резервуарных вычислений (Reservoir Computing), который не требует чересчур ресурсоемких вычислений.

Режим 2 направлен на перевод петель обратных связей (ПОС) между кластерами из концептуальной схемы в операциональную вычислительную модель. Такая модель позволит осуществлять имитацию управленческих сценариев. В настоящее время уже существуют архитектуры связки ИИ с системно-динамическим моделированием, позволяющие встраивать сценарный анализ непосредственно в интерфейс управления (проект AutoMoTIF (EC)).

Режим 3 расширяет информационную базу ЦДБ на основе обработки естественных языков (NLP), источником которых выступает публичный дискурс в регионе. Такие модели могут обеспечивать анализ тональности публикаций в социальных медиа и региональных СМИ, дополняя данный социологических опросов, тем самым выступая индикатором для кластера 1 («Субъективное благосостояние и смысловая вовлеченность»).

Как показывает опыт применения таких моделей в период COVID-19 [12], они позволяют с высокой точностью отслеживать динамику настроений в обществе в ответ на реализуемые управленческие решения.

Принципиально важно отметить, что ни в одном из этих режимов ИИ-подсистема не принимает управленческих решений. Ее задача – расширить аналитический инструментарий для выработки наиболее эффективных управленческих решений.

4. Заключение

В рамках данной статьи нам удалось охватить далеко не все аспекты, связанные с предложенной АВС-моделью и основанного на ней ЦДБ. В отличие от традиционных подходов, связанных с цифровизацией государственного управления, данный инструментарий имеет собственные нормативные основания, которые диктуют логику отбора, верификации и интерпретации данных. Три теоретических уровня модели – агатология, концепция возможностей и системное мышление обеспечивают целостную основу для пятикластерного многомерного регионального профиля, который позволяет диагностировать аномалии регионального развития, прежде всего связанные с парадоксом «роста без развития».

Технологически ЦДБ опирается на IoT, который обеспечивает непрерывный мониторинг ключевых параметров; блокчейн, как систему верифицируемого хранения данных; искусственный интеллект, главной задачей которого становится интерпретация данных и построение сценариев регионального развития.

Вместе с тем, предлагаемую АВС-модель и ЦДБ необходимо развивать по следующим направлениям. Прежде всего, следует уточнить состав индикаторов кластеров, сообразуясь с реальной доступностью данных на уровне региона и страны в целом. Кроме того, необходимо проанализировать ограничения данной технологической архитектуры, включая инфраструктурные, институциональные и нормативные, причем к верификации моделей необходимо привлекать представителей региональных сообществ на основе принципа «гражданской науки». Очевидно, что требуется провести апробацию ЦДБ на выборке региональных систем, дабы обеспечить ее статистическую значимость, причем регионы должны обладать различными цивилизационными контекстами.

Тем не менее, мы уверены, что ЦДБ, основанный на АВС-модели, сможет вооружить систему стратегического управления регионом эффективным инструментарием оценки и проектирования регионального благосостояния.

Список литературы

1. United Nations. E-Government Survey 2024: Accelerating Digital Transformation for Sustainable Development. – New York: UN DESA, 2024. – URL: https://desapublications.un.org/sites/default/files/publications/2024-09/%28Web%20version%29%20E-Government%20Survey%202024%201392024.pdf (дата обращения: 24.06.2026).

2. Савеличев, М. В. Генеалогия технократической парадигмы управления региональным развитием: от кейнсианства к неолиберализму / М. В. Савеличев, Л. А. Ельшин, М. И. Прыгунова // Электронный экономический вестник Татарстана. – 2026. – Т. 1. – С. 28–36.

3. United Nations. Counting What Counts: A Compass of Progress for People and Planet. Report of the High-Level Expert Group on Beyond GDP Metrics. – New York: UN, 2026. – URL: https://www.un.org/en/desa/united-nations-proposes-new-global-dashboard-to-measure-progress-beyond-gdp (дата обращения: 24.06.2026).

4. Kedi Liu et al. A comprehensive Beyond-GDP database to accelerate wellbeing research // Scientific Data. – 2024. – Vol. 11. – P. 1163.

5. Stiglitz J.E., Sen A., Fitoussi J.-P. The Measurement of Economic Performance and Social Progress Revisited. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. – Paris: CMEPSP, 2009. – 292 p.

6. Шохин В. К. Философия практического разума: агатологический проект. – Санкт-Петербург : Владимир Даль, 2020. – 336 с.

7. Сен А. Развитие как свобода / Амартия Сен; [пер. с англ. под ред. и с послесл. Р. М. Нуреева]. – Москва : Новое издательство, 2004. – 432 с.

8. Nussbaum M. C. Creating Capabilities: The Human Development Approach. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2011. – 256 p.

9. Сенге, П. Пятая дисциплина. Искусство и практика обучающейся организации / П. Сенге ; пер. с англ. Н. Макаровой. – 5-е изд. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 496 с.

10. Остром, Э. Управляя общим: эволюция институтов коллективной деятельности / пер. с англ. – Москва : ИРИСЭН; Мысль, 2010. – 447 с.

11. World Economic Forum. Exploring Blockchain Technology for Government Transparency: Blockchain-Based Public Procurement as a Pilot Use Case. – Geneva: WEF, 2020. – URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Blockchain_Government_Transparency_Report.pdf (дата обращения: 04.06.2026).

12. Liu C., Tian Y., Shi Y., Huang Z., Shao Y. An Analysis of Public Topics and Sentiments Based on Social Media during the COVID-19 Omicron Variant Outbreak in Shanghai 2022 // Computational Urban Science. – 2024. – Vol. 4, № 1. – Art. 19. – DOI: 10.1007/s43762-024-00128-y.

УДК 347

ПРАВОВОЙ РЕЖИМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ «МОЙ НАЛОГ»

Сайфутдинов М.Р., старший преподаватель;
ORCID: 0009-0007-8544-5613;
Коржев С.В., к.ю.н., доцент кафедры государственно-правовых дисциплин Казанского юридического института (филиала) ФГКОУ ВО «Университет прокуратуры Российской Федерации», г. Казань, Россия

THE LEGAL REGIME OF USING THE «MY TAX» MOBILE APPLICATION

Sayfutdinov M.R., Senior Lecturer;
ORCID: 0009-0007-8544-5613;
Korzhev S.V., Candidate of Legal Sciences, Associate Professor at the Department of State and Legal Disciplines of the Kazan Law Institute (branch) of the University of the Prosecutor's Office of the Russian Federation, Kazan, Russia

Аннотация

В статье мобильное приложение «Мой налог» рассматривается не столько как элемент налогового администрирования, сколько как цифровой инструмент, через который опосредуются гражданско-правовые связи самозанятых лиц с контрагентами. Такой взгляд отличается от преобладающего в научной литературе ракурса на приложение исключительно сквозь призму фискальных задач. В работе также исследуется правовая природа формируемого приложением чека и его доказательственное значение при разрешении судебных споров. Уделяется внимание гражданско-правовому статусу самозанятого лица как участнику оборота. Нормативную основу анализа составляют Федеральный закон от 27 ноября 2018 г. № 422-ФЗ «О проведении эксперимента по установлению специального налогового режима «Налог на профессиональный доход» и Приказ ФНС России от 14 февраля 2022 г. № ЕД-7-20/106 «Об утверждении Порядка использования мобильного приложения «Мой налог». Установлено, что в действующем законодательстве отсутствует легальная дефиниция понятия «самозанятого лица», имеется необходимость в правовой регламентации доказательственного статуса чека, сохраняется неопределённость гражданско-правового статуса самозанятого лица.

Ключевые слова: самозанятое лицо, мобильное приложение «Мой налог», налог на профессиональный доход, гражданско-правовой статус, договор возмездного оказания услуг, цифровизация гражданского оборота, специальный налоговый режим

Abstract

In the article, the mobile application «My Tax» is considered not so much as an element of tax administration as a digital tool through which civil-law relations between self-employed persons and counterparties are mediated. This view differs from the perspective prevailing in scholarly literature, which examines the application exclusively through the prism of fiscal tasks. The work also examines the legal nature of the receipt generated by the application and its evidentiary significance in resolving court disputes. Attention is paid to the civil-law status of the self-employed person as a participant in turnover. The normative basis of the analysis is Federal Law No. 422-FZ of November 27, 2018, «On Conducting an Experiment to Establish a Special Tax Regime «Professional Income Tax» and Order of the Federal Tax Service of Russia No. ED-7-20/106 of February 14, 2022, «On Approval of the Procedure for Using the Mobile Application «My Tax». It is established that current legislation lacks a legal definition of the concept of a «self-employed person», there is a need for legal regulation of the evidentiary status of the receipt, and uncertainty persists regarding the civil-law status of the self-employed person.

Keywords: self-employed, mobile application «My Tax», tax on professional income, civil law status, contract for paid services, digitalization of civil circulation, special tax regime

Введение

Правовой институт самозанятости появился в российском праве благодаря эксперименту по введению специального налогового режима «Налог на профессиональный доход» (далее – НПД), запущенному Федеральным законом от 27 ноября 2018 г. № 422-ФЗ «О проведении эксперимента по установлению специального налогового режима «Налог на профессиональный доход»» (далее – Федеральный закон № 422-ФЗ) [1]. Первоначально, с 1 января 2019 г., эксперимент охватывал лишь четыре субъекта Российской Федерации, однако позже его действие было распространено на территорию всей страны. Характерной чертой этого налогового режима является его цифровой формат, поскольку налог администрируется через специальное программное обеспечение мобильное приложение «Мой налог», созданное Федеральной налоговой службой (далее – ФНС России).

Обращение к приложению «Мой налог» в цивилистическом ключе продиктовано самой фактурой отношений. Статистика ФНС России фиксирует к августу 2026 года 17,263 млн плательщиков НПД (прирост почти на 12% с начала года). За данными статистическими сведениями стоит множество договоров возмездного оказания услуг и подряда, которые заключаются и исполняются через мобильное приложение. Однако до сих пор понятие самозанятого лица законодателем не определено и не закреплено [2].

В настоящей работе приложение «Мой налог» рассматривается прежде всего как цифровой юридический инструмент, с помощью которого возникают, изменяются и прекращаются гражданские права и обязанности самозанятых лиц. Отдельное внимание в исследовании уделено правовой природе чека, формируемого приложением, его доказательственное значение в спорах между самозанятым и заказчиком.

Методика

Нормативную правовую базу авторы разбирали формально-юридическим методом, обращая внимание прежде всего на те положения, которые адресованы контрагентам самозанятых лиц. Эмпирическую основу составила судебная практика по делам о взыскании задолженности, неосновательном обогащении и защите прав потребителей, в которых стороны ссылались на чеки, сформированные в приложении.

Основная часть

Регулирование распределено между законом и подзаконным актом. Федеральный закон № 422-ФЗ [1] задаёт рамку: принципы налогообложения самозанятых и обязательность цифрового канала связи с налоговым органом. Постановка на учёт производится по заявлению

с приложением паспортных данных и фотографии. Тем, у кого уже открыт личный кабинет налогоплательщика, ни того ни другого представлять не требуется.

Всё, что касается самой работы с приложением (регистрация, формирование чека, учёт поступлений, уплата налога) отнесено и регламентируется Порядком, утверждённым Приказом ФНС России от 14 февраля 2022 г. № ЕД-7-20/106 [3]. Таким образом, юридически значимые факты, влекущие гражданско-правовые последствия, фиксируются в программном продукте, правила работы с которым установлены ведомственным актом.

Через приложение самозанятые лица встают на учёт и снимаются с него, отражают поступления, формируют чеки, уплачивают налог и добровольные страховые взносы. Личное обращение в инспекцию при этом не предполагается; основным каналом связи с налоговым органом выступает цифровой. Закон допускает четыре способа постановки на учёт: в самом приложении, в веб-кабинете на сайте ФНС России, через уполномоченный банк или по учётной записи портала госуслуг. Практика показывает, что граждане предпочитают первый способ.

Получив оплату, самозанятый обязан сформировать чек. Учёт поступлений ведётся автоматически, поэтому ни налоговый учёт, ни декларирование от него не требуются. Однако значение чека этим не исчерпывается.

Так, в чеке указываются дата, сумма, наименование товаров (работ, услуг), данные налогоплательщика; сведения о заказчике указываются в предусмотренных случаях, если они сообщены самозанятому. Такой набор сведений в гражданском процессе может образовывать содержание письменного доказательства по смыслу статьи 71 Гражданского процессуального кодекса Российской Федерации [5] и статьи 75 Арбитражного процессуального кодекса Российской Федерации [6]. Документ, создаваемый для фискальных целей, на практике оказывается пригоден и для частноправовых целей. Именно в этой двойственности, на взгляд авторов, и состоит цивилистическая специфика приложения.

В спорах между самозанятым и заказчиком чек подтверждает сам факт оказания услуг (выполнения работ) и их оплаты, а именно обстоятельство, входящее в предмет доказывания по делам о неосновательном обогащении, расторжении договора, взыскании убытков. В судах такие чеки признают доказательством, например, по одному из дел суд указал, что чек сформирован самозанятым в личном кабинете и оснований исключать его из числа доказательств не имеется [7].

Оговоримся, чек не подменяет собой гражданско-правовой договор, его роль иная. Сам по себе чек не свидетельствует о согласии обеих сторон на сделку, однако в совокупности с оплатой, перепиской сторон и фактическим исполнением он может подтверждать акцепт (ст. 438 Гражданского кодекса Российской Федерации [4]), а при указании назначения платежа и согласовании существенных условий может использоваться как доказательство оферты или акцепта. Тем самым приложение «Мой налог» служит не только для фиксации дохода для налоговых целей, но и облегчает доказывание факта заключения и исполнения договора между самозанятым и его контрагентом.

Тем не менее доказательственный статус чека пока не получил должной регламентации. Прямого указания на то, что чеки самозанятых лиц являются надлежащими письменными доказательствами, процессуальное законодательство не содержит. Полагаем, целесообразно дополнить Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации [5] и Арбитражный процессуальный кодекс Российской Федерации [6] положениями, прямо закрепляющими доказательственное значение чеков, сформированных через приложение «Мой налог», при разрешении споров из договоров возмездного оказания услуг и подряда.

Круг гражданско-правовых режимов, применимых к самозанятому, довольно широк. Он может выступать исполнителем по договору возмездного оказания услуг (глава 39 ГК РФ [4]) либо подрядчиком (глава 37 ГК РФ [4]); если его услугами пользуются граждане-потребители, на него распространяются нормы законодательства о защите прав потребителей. Ответственность за нарушение обязательств наступает по общим правилам главы 25 ГК РФ. Вопрос

о применении повышенного стандарта ответственности предпринимателя (пункт 3 статьи 401 ГК РФ) зависит от того, осуществляет ли конкретное лицо предпринимательскую деятельность; сам по себе статус плательщика НПД такого вывода автоматически не влечёт.

Показательно, что с 1 марта 2025 г. самозанятые лица отнесены к хозяйствующим субъектам согласно Федеральному закону «О защите конкуренции» от 26 июля 2006 г. № 135-ФЗ [9]. Это нововведение подчёркивает роль самозанятых как полноценных участников экономического оборота и заставляет по-новому взглянуть на необходимость уточнения их гражданско-правового статуса.

Как справедливо подмечается в литературе, отсутствие легальной дефиниции самозанятости порождает правовую неопределённость [2]: Федеральный закон № 422-ФЗ [1] раскрывает понятие «профессиональный доход», но обходит стороной понятие субъекта, этот доход получающего. Отсюда и трудности с единообразным применением гражданско-правовых норм к отношениям с участием самозанятых.

В этом смысле приложение «Мой налог» выполняет двойную роль, оно фиксирует доход для налоговых органов и одновременно облегчает доказывание факта заключения и исполнения договора между самозанятым и контрагентом, способствуя легализации доходов и правовой определённости для обеих сторон сделки. Достоинства цифрового инструментария очевидны, но правовой режим приложения остаётся незавершённым.

Отдельного упоминания заслуживает срок действия самого режима. Эксперимент рассчитан до 31 декабря 2028 г. Обсуждавшееся в Государственной Думе в 2026 г. продление до 2035 г. решением пока не оформлено, и эта неопределённость сказывается на горизонте планирования: самозанятых лиц.

Выводы

1. Приложение «Мой налог» работает в двух режимах одновременно. Фискальный очевиден. Цивилистический состоит в том, что фиксация даты, суммы и предмета сделки создаёт юридические факты, на которые стороны впоследствии ссылаются в споре. По существу, это не техническое средство, а инструмент, опосредующий возникновение, изменение и прекращение гражданских прав и обязанностей самозанятых лиц.

2. Чек отвечает требованиям относимости и допустимости и способен стать основанием для разрешения спора о неисполнении обязательства. Суды такие чеки принимают [7]. Вместе с тем его доказательственный статус нуждается в более ясной нормативной регламентации.

3. Отнесение самозанятых с 1 марта 2025 г. к хозяйствующим субъектам по Федеральному закону № 135-ФЗ [9] сделало вопрос об их гражданско-правовом статусе ещё более острым. То есть, участником конкурентных отношений самозанятое лицо признано, а его положение в системе субъектов гражданского права по-прежнему не определено.

4. Предлагается закрепить в законодательстве определение самозанятого лица и дополнить Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации и Арбитражный процессуальный кодекс Российской Федерации указанием на доказательственное значение чеков, сформированных через приложение.

5. Режим НПД доказал массовую применимость, и сохранение за ним экспериментального статуса выглядит всё менее оправданным.

6. Отработанная в приложении модель автоматизированного взаимодействия может быть перенесена на иные сферы гражданского оборота, что снизит административную нагрузку на участников.

7. Статус самозанятого лица – не только набор гарантий, но и обязанности по надлежащему налогообложению и соблюдению правил ведения деятельности [8].

Список литературы

1. Федеральный закон от 27 ноября 2018 г. № 422-ФЗ «О проведении эксперимента по установлению специального налогового режима «Налог на профессиональный доход»» (в ред. от 28 ноября 2025 г.) // Собрание законодательства РФ. – 2018. – № 49. – С. 7498.

2. Сайфутдинов М. Р. О некоторых аспектах деятельности государственных органов Российской Федерации в сфере самозанятости // Вестник экономики, права и социологии. – 2019. – № 4. – С. 134–138.

3. Приказ ФНС России от 14 февраля 2022 г. № ЕД-7-20/106@ «Об утверждении Порядка использования мобильного приложения «Мой налог»» // Официальные документы ФНС России.

4. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30 ноября 1994 г. № 51-ФЗ (в актуальной редакции).

5. Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации от 14 ноября 2002 г. № 138-ФЗ (в актуальной редакции).

6. Арбитражный процессуальный кодекс Российской Федерации от 24 июля 2002 г. № 95-ФЗ (в актуальной редакции).

7. Решение суда по делу № 2-4166/2025 от 28 октября 2025 г. // Судебные и нормативные акты РФ (sudact.ru).

8. Сайфутдинов М.Р. Институциональные правовые средства государственной поддержки самозанятых лиц в Российской Федерации // Евразийский юридический журнал. – 2020. – № 1. – С. 222–224.

9. Федеральный закон «О защите конкуренции» от 26 июля 2006 г. № 135-ФЗ (в актуальной редакции).

УДК 340.5 : 346.7

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ВАЛЮТ В РОССИИ И ГОСУДАРСТВАХ СНГ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ

Салиев И.Р., к.ю.н., старший научный сотрудник Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
Меликов У.А., д.ю.н., доцент кафедры права Международного университета туризма и предпринимательства Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан;
E-mail: umrillo@mail.ru

LEGAL REGULATION IN THE SPHERE OF DIGITAL CURRENCY CIRCULATION IN RUSSIA AND IN THE CIS COUNTRIES IN THE CONTEXT OF THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ENERGY SECTOR

Saliev I.R., Candidate of Legal Sciences, Senior Researcher, Institute of Ecology and Subsoil Use Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
Melikov U.A., Doctor of Law, Associate Professor of the Department of Law of the International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan;
E-mail: umrillo@mail.ru

Аннотация

Деятельность в сфере создания и обращения цифровых валют связана с энергетическими затратами. По оценкам Кембриджского центра альтернативных финансов, годовое потребление электроэнергии сетью биткоин (Bitcoin) составляет порядка 138 ТВт·ч, что соизмеримо с энергопотреблением отдельных европейских государств; сеть эфириум (Ethereum) после перехода в 2022 г. на алгоритм proof-of-stake сократила энергопотребление более чем на

99%. В ряде исследований также отмечается воздействие на окружающую среду в сфере оборота цифровых активов. В государствах, входящих в Содружество Независимых Государств (далее – СНГ), сложились разные подходы в сфере регулирования оборота цифровых валют. В результате анализа выявлены два подхода: регулирование в специальных нормативных правовых актах и отсутствие специального правового регулирования. На уровне СНГ приняты Модельные законы о цифровых финансовых активах, о цифровых правах, при этом на основе модельного законодательства не сложилось единообразное правовое регулирование, основанное на общих терминах, определениях, содержащихся в Модельных законах.

Основная цель настоящей работы – проведение анализа нормативного правового регулирования в сфере обращения цифровых валют в России и в государствах СНГ в условиях цифровой трансформации энергетики. Как показал проведенный анализ, в большинстве государств приняты нормативные правовые акты, регламентирующие отношения в сфере оборота цифровых валют, криптовалют, цифровых активов; в большей мере урегулированы отношения в сфере оборота криптовалют, виртуальных активов. В ряде государств специальное правовое регулирование отсутствует. В отдельных нормативных правовых актах предусмотрены нормы, стимулирующие использование альтернативных источников энергии для сферы оборота. В Кыргызской Республике и Республике Казахстан предусмотрен государственный (стратегический) майнинг. Общий результат проведенного сравнительного анализа можно сформулировать следующим образом: одной из тенденций развития правового регулирования является нормативное закрепление участия государства в лице компетентных органов в сфере регулирования и реализации государственной политики по развитию и функционированию соответствующего рынка.

Ключевые слова: виды цифровых валют, оборот цифровых валют, участники отношений в сфере обращения цифровых валют, майнинг, цифровая трансформация энергетики

Abstract

Activities in the field of creating and circulating digital currencies are associated with energy costs. According to the Cambridge Centre for Alternative Finance, the annual electricity consumption of the Bitcoin network amounts to about 138 TWh, which is comparable to the electricity consumption of individual European states; the Ethereum network, after its transition to the proof-of-stake algorithm in 2022, has reduced its energy consumption by more than 99 %. Several studies also note the environmental impact of the circulation of digital assets. In the states that are members of the Commonwealth of Independent States (hereinafter referred to as the CIS), different approaches have emerged in the regulation of digital currency circulation. The analysis revealed two approaches: regulation through special regulatory legal acts and the absence of special legal regulation. At the CIS level, Model Laws on Digital Financial Assets and on Digital Rights have been adopted; however, uniform legal regulation based on the common terms and definitions contained in the Model Laws has not been established on the basis of the model legislation.

The main goal of this work is to analyze the regulatory legal framework in the field of digital currency circulation in Russia and in the CIS states under the conditions of digital transformation of the energy sector. As the analysis has shown, most states have adopted regulatory legal acts governing relations in the sphere of circulation of digital currencies, cryptocurrencies, and digital assets; relations involving cryptocurrencies and virtual assets are regulated to a greater extent. In some states, there is no special legal regulation. Some regulatory legal acts contain provisions that encourage the use of alternative energy sources in the circulation sphere. In the Kyrgyz Republic and the Republic of Kazakhstan, state (strategic) mining is provided for. The overall result of the comparative analysis can be formulated as follows: one of the trends in the development of legal regulation is the normative consolidation of the state's participation, represented by competent authorities, in the sphere of regulating and implementing state policy for the development and functioning of the relevant market.

Keywords: types of digital currencies, circulation of digital currencies, participants in relations in the sphere of circulation of digital currencies, mining, digital transformation of the energy sector

Введение

В Российской Федерации с 1 сентября 2026 г. вступил в силу Федеральный закон от 4 августа 2026 г. № 282-ФЗ «О цифровых валютах и цифровых правах» [3], установивший специальные правила организации обращения, учета и контроля в сфере обращения цифровых валют и майнинга. В государствах, входящих в СНГ, приняты Модельные законы [4; 5], в отдельных государствах установлено специальное регулирование [6; 7] или обсуждаются вопросы такого регулирования. Сфера обращения цифровых валют связана с большими энергетическими затратами: годовое потребление электроэнергии сетью Bitcoin оценивается в 138 ТВт·ч, или около 0,5% мирового потребления, при доле устойчивых источников в энергобалансе майнинга 52,4% [8]. В исследованиях также отмечается воздействие на окружающую среду и наличие углеродного следа в сфере оборота цифровых активов [9; 10]; хотя эти работы выполнены до перехода сети Ethereum на алгоритм proof-of-stake (сентябрь 2022 г.), сократившего ее энергопотребление более чем на 99% [21], их выводы в отношении сети Bitcoin, сохраняющей алгоритм proof-of-work, остаются актуальными. Изложенное подтверждает актуальность темы.

Термин «цифровая валюта» употребляется в настоящей работе в значении, закрепленном законодательством Российской Федерации: согласно п. 1 ч. 1 ст. 2 Федерального закона № 282-ФЗ [3] (ранее – ч. 3 ст. 1 Федерального закона № 259-ФЗ [1]) это имущество в виде совокупности электронных данных, которое может быть принято в качестве средства платежа, не являющегося денежной единицей Российской Федерации, иностранного государства или международной расчетной единицей, и (или) в качестве инвестиций и в отношении которого отсутствует обязанное лицо. Легальное понятие цифровой валюты охватывает децентрализованные криптовалюты (биткоин, эфириум и др.) и стейблкоины, но не распространяется на цифровой рубль, который в силу Федерального закона от 24 июля 2023 г. № 340-ФЗ является формой национальной валюты, эмитируемой Банком России, и относится к денежным средствам; понятие «цифровая валюта центрального банка» (CBDC) в российском законодательстве не используется. В законодательстве государств СНГ применяются иные термины – «криптовалюта», «цифровой актив», «виртуальный актив», «криптоактив», «цифровой знак (токен)».

Методы и методология

Применялись как общенаучные методы – анализ, синтез, так и специальные – сравнение, обобщение нормативных правовых актов и практики. Проведен сравнительный анализ нормативных правовых актов, включая специальные законы, подзаконные нормативные акты, а также в сравнительном аспекте анализировались нормы Модельного законодательства стран СНГ. На основе обобщения результатов сравнительного анализа обоснованы отдельные предложения по дальнейшему развитию законодательного обеспечения в сфере обращения цифровых валют.

Основная часть

В Российской Федерации с 1 сентября 2026 г. вступил в силу Федеральный закон от 4 августа 2026 г. № 282-ФЗ «О цифровых валютах и цифровых правах» [3]; Федеральным законом от 4 августа 2026 г. № 283-ФЗ [2] внесены корреспондирующие изменения в отдельные законодательные акты и предусмотрено поэтапное прекращение действия Федерального закона от 31 июля 2020 г. № 259-ФЗ [1]. Подробнее остановимся на вопросах правового регулирования отношений в сфере обращения цифровых валют. В ст. 2 Закона № 282-ФЗ закреплено понятие цифровой валюты как имущества особого рода; под обращением понимается совершение сделок, влекущих переход цифровых валют от одного обладателя к другому. Закон не определяет виды цифровых валют, которые будут использованы в обороте, а устанавливает критерии их допуска к публичному обращению на организованных торгах (ч. 13 ст. 31); в развитие этих

норм Банк России подготовил проект указания, согласно которому к публичному обращению могут быть допущены биткоин (Bitcoin), эфириум (Ethereum) и Тезер Ю Эс Ди Ти (Tether USDT). Организация обращения цифровых валют возложена на лицензированных посредников, включаемых в реестры Банка России (ст. 14–18); для неквалифицированных инвесторов предусмотрены тестирование и годовой лимит, а с 1 июля 2027 г. резиденты вправе совершать сделки с цифровыми валютами только через таких посредников (ч. 1 ст. 30). Сохранен запрет на прием цифровых валют в качестве средства платежа, за исключением расчетов по внешнеторговым договорам (ч. 6, 7 ст. 1). Поскольку цифровые валюты признаны имуществом, сделки с ними являются сделками с имуществом; этот статус закреплен и для целей уголовного судопроизводства Федеральным законом от 20 февраля 2026 г. № 38-ФЗ, а Конституционный Суд Российской Федерации в Постановлении от 20 января 2026 г. № 2-П подтвердил судебную защиту имущественных прав обладателей цифровой валюты.

Применительно к энергетической проблематике отметим, что глава 2 Закона № 282-ФЗ (ст. 3–5) сохранила модель регулирования майнинга, введенную Федеральным законом от 8 августа 2024 г. № 221-ФЗ: майнинг осуществляют юридические лица и индивидуальные предприниматели, включенные в реестр Федеральной налоговой службы, а граждане – в пределах лимитов энергопотребления, установленных Правительством Российской Федерации. Правительство вправе вводить запрет майнинга в отдельных субъектах Российской Федерации или на их территориях (ст. 5): постановлением от 23 декабря 2024 г. № 1869 запрет установлен до 15 марта 2031 г. для ряда субъектов Российской Федерации, а постановлением от 25 июля 2026 г. № 936 – для города Москвы и Московской области на период до 31 декабря 2032 г. Норм, стимулирующих использование возобновляемых источников энергии в сфере майнинга, российское законодательство, в отличие от законодательства ряда государств СНГ, не содержит.

В Республике Беларусь принят специальный Декрет [7], в котором закреплены термины и их определения, в том числе определены понятия криптовалюты, смарт-контракта, цифрового знака (токена). Понятие криптовалюты раскрывается путем перечисления видов (биткоин, иной цифровой знак (токен), используемый в международном обороте в качестве универсального средства обмена). Указом Президента Республики Беларусь от 17 сентября 2024 г. № 367 «Об обращении цифровых знаков (токенов)» закреплено, что сделки с токенами за фиатные деньги совершаются исключительно через резидентов Парка высоких технологий – операторов криптоплатформ и операторов обмена криптовалют, а совершение сделок с нарушением установленных требований является незаконным и запрещается; тем самым оборот криптовалют легализован, но локализован в периметре Парка высоких технологий. Указом от 16 января 2026 г. № 19 введен институт криптобанков.

В Законе Республики Казахстан от 6 февраля 2023 г. № 193-VII ЗРК «О цифровых активах в Республике Казахстан», действующем в редакции законов от 17 ноября 2025 г. № 231-VIII и от 16 января 2026 г. № 259-VIII, содержатся основные термины и определения; поправками 2026 г. в закон включена глава о Национальном стратегическом крипторезерве. Президентом Республики Казахстан принят Указ от 7 июля 2026 г. № 1347. Правительством утверждены Правила, которые определяют порядок осуществления стратегического цифрового майнинга: майнеры получают квоты на электроэнергию по предельным тарифам в обмен на отчисление части полученных цифровых активов в Национальный стратегический крипторезерв.

В Республике Армения принят Закон от 29 мая 2025 г. ЗР-159-N «О криптоактивах», вступивший в силу 4 июля 2025 г. Криптоактивы отнесены к имуществу; регулятором рынка определен Центральный банк Республики Армения, к компетенции которого отнесено лицензирование поставщиков услуг, связанных с криптоактивами.

В Азербайджанской Республике специальное правовое регулирование отсутствует. Проект закона о криптоактивах разработан Центральным банком Азербайджана и передан на согласование в государственные органы; его принятие ожидается до конца 2026 г.

В Кыргызской Республике принят специальный закон. В статье 4 рассматриваемого закона закреплены основные понятия и термины. Можно отметить особенность, что наряду с основными понятиями «виртуальный актив», «технология распределенных реестров», «цифровой токен» Законом Кыргызской Республики от 19 января 2026 г. № 3 закреплены также понятия «государственный майнинг», «государственный криптовалютный резерв». При государственном майнинге возможно использование энергетических, инфраструктурных и технологических ресурсов государства. При этом предусматривается формирование государственного криптовалютного резерва, направляемого на поддержку государственных проектов в сфере блокчейн-технологий и на развитие цифровой трансформации экономики Кыргызской Республики.

В Республике Таджикистан отсутствует специальное регулирование отношений в сфере оборота цифровых валют.

В Туркменистане установлено специальное регулирование: Закон Туркменистана от 27 ноября 2025 г. «О виртуальных активах» принят Меджлисом 22 ноября 2025 г. и вступил в силу 1 января 2026 г. В ст. 1 специального закона раскрыты такие основные понятия, как «технология распределенных реестров», «цифровой токен», «смарт-контракт», и другие термины, необходимые для целей регулирования отношений в данной сфере. В статье 12 данного закона определены компетенции органов управления. Анализ установленной в законе компетенции Министерства энергетики показывает, что Министерство принимает участие в реализации государственной политики в сфере оборота виртуальных активов; разрабатывает государственные и иные программы. Особенно важно подчеркнуть, что Министерство регламентирует порядок установления тарифов и правила предоставления электроэнергии в сфере оборота виртуальных активов. В компетенцию Министерства также входят разработка нормативных правовых актов, контроль над использованием электрической энергии, выдача разрешений на подключение.

В Республике Узбекистан приняты нормативные правовые акты разного уровня, направленные на регулирование отношений в сфере оборота цифровых валют. В законодательстве осуществлено нормативное закрепление участия государства в сфере регулирования и реализации государственной политики по развитию и функционированию соответствующего рынка; особенностью является энергетическое условие майнинга – использование электроэнергии, произведенной солнечными фотоэлектрическими станциями.

Выводы. Проведенный сравнительный анализ нормативного правового регулирования отношений в рассматриваемой сфере показал, что в качестве одной из тенденций следует отметить нормативное закрепление участия государства в лице компетентных органов в сфере регулирования и реализации государственной политики по развитию и функционированию рынка цифровых валют. Другой тенденцией является включение энергетической составляющей в предмет правового регулирования: от лимитов энергопотребления и территориальных запретов майнинга (Российская Федерация) до стимулирующих механизмов – квот на электроэнергию (Республика Казахстан), обязательного использования солнечной генерации (Республика Узбекистан), государственного майнинга (Кыргызская Республика). Представляется целесообразным дополнить российское законодательство о цифровых валютах нормами, стимулирующими использование в сфере майнинга возобновляемых источников энергии и избыточных генерирующих мощностей.

Список литературы

1. Федеральный закон от 31.07.2020 № 259-ФЗ «О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2020. № 31 (часть I). Ст. 5018 (утрачивает силу с 1 сентября 2028 г. в связи с изданием Федерального закона от 04.08.2026 № 283-ФЗ).

2. Федеральный закон от 04.08.2026 № 283-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу законодательных актов (отдельных положений законодательных актов) Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2026. № 32. Ст. 4480.

3. Федеральный закон от 04.08.2026 № 282-ФЗ «О цифровых валютах и цифровых правах» (принят Государственной Думой 21.07.2026, одобрен Советом Федерации 24.07.2026) // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202608040007 (дата опубликования: 04.08.2026); Собрание законодательства РФ. 2026. № 32. Ст. 4479; Российская газета. 2026. 11 августа. № 178–179.

4. Модельный закон о цифровых финансовых активах (принят 14.04.2023 в г. Санкт-Петербурге постановлением 55-11 на 55-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ) // Информационный бюллетень. Межпарламентская Ассамблея государств – участников Содружества Независимых Государств. 2023. № 78 (часть 2).

5. Модельный закон о цифровых правах (принят 14.04.2023 в г. Санкт-Петербурге постановлением 55-12 на 55-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ) // Информационный бюллетень. Межпарламентская Ассамблея государств – участников Содружества Независимых Государств. 2023. № 78 (часть 2).

6. Закон Республики Казахстан от 06.02.2023 № 193-VII ЗРК «О цифровых активах в Республике Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.05.2026) // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2300000193 (дата обращения: 07.09.2026).

7. Cambridge Digital Mining Industry Report / Cambridge Centre for Alternative Finance, University of Cambridge Judge Business School. Cambridge, 2025. URL: https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2025/04/2025-04-cambridge-digital-mining-industry-report.pdf (дата обращения: 07.09.2026).

8. Stoll C., Klaaßen L., Gallersdörfer U. The Carbon Footprint of Bitcoin // Joule. 2019. Vol. 3. Iss. 7. P. 1647–1661. DOI: 10.1016/j.joule.2019.05.012.

9. Jiang S., Li Y., Lu Q., Hong Y., Guan D., Xiong Y., Wang S. Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China // Nature Communications. 2021. Vol. 12. Art. 1938. DOI: 10.1038/s41467-021-22256-3.

10. Проект Указания Банка России «О порядке определения совокупной стоимости в денежном эквиваленте цифровых валют, приобретенных и приобретаемых по поручению резидента, не являющегося квалифицированным инвестором, через брокера в течение календарного года, предельной сумме совокупной стоимости в денежном эквиваленте цифровых валют, приобретенных и приобретаемых по поручению резидента, не являющегося квалифицированным инвестором, через брокера в течение календарного года, перечне цифровых валют, которые организатор торговли вправе допустить к публичному обращению на организованных торгах, порядке определения рыночной капитализации цифровых валют, которые организатор торговли вправе допустить к публичному обращению на организованных торгах, порядке определения среднедневного объема торгов цифровыми валютами, которые организатор торговли вправе допустить к публичному обращению на организованных торгах, и порядке определения среднего объема торгов по сделкам с цифровыми валютами у иностранного организатора торговли» (по состоянию на 11.08.2026) // Банк России: официальный сайт. URL: https://www.cbr.ru/press/event/?id=32754 (дата обращения: 07.09.2026); СПС «КонсультантПлюс».

УДК 338.2

ЗАРУБЕЖНЫЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ МОНОПОЛИЙ

Сафиуллин М.Р., д.э.н., профессор, вице-президент Академии наук Республики Татарстан, проректор по вопросам экономического и стратегического развития ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0000-0003-3708-8184;
Гурьянов В.И., магистрант Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-9126-7216

FOREIGN AND RUSSIAN METHODS OF NATURAL MONOPOLIES REGULATION

Safiullin M.R., Doctor of Economics, Professor, Vice President of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Vice-Rector for Economic and Strategic Development, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID: 0000-0003-3708-8184;
Gurianov V.I., Master's student, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-9126-7216

Аннотация

Естественные монополии занимают важное место в экономике любой страны, так как их продукция необходима для множества производственных процессов и комфортной жизни населения. Незаменимость продукции естественно монопольных отраслей для экономики и неэффективность для них традиционных методов конкурентного рыночного регулирования часто приводят к необходимости вмешательства государства в процесс их функционирования. Одним из наиболее часто применяемых методов регулирования естественных монополий является тарифное регулирование цен на их продукцию. В статье авторами рассмотрены методы регулирования естественных монополий, применяемые как в России, так и за рубежом, проанализированы достоинства и недостатки каждого метода, а также исследованы тенденции в сфере тарифного регулирования на примере Республики Татарстан. Описаны преимущества применения цифровых технологий в процессе государственного регулирования естественных монополий. Проведённый анализ позволяет учесть исторический опыт регулирования естественных монополий в других странах и на его основе выработать оптимальную стратегию развития сферы тарифного регулирования с учётом целей и задач государства, в рамках конкретной сложившейся экономической ситуации.

Ключевые слова: естественные монополии, государственное регулирование, тарифы, методы установления тарифов, тарифное регулирование

Abstract

Natural monopolies play a vital role in the economy of any country, as their products are essential for numerous production processes and for the comfortable life of the population. The indispensability of the products of natural monopolies to the economy and the ineffectiveness of traditional competitive market regulation methods often necessitate government intervention in their functioning. One of the most frequently used methods of regulating natural monopolies is regulation of prices for their products with tariffs. In this article, the authors examine the methods of regulating natural monopolies used both in Russia and abroad, analyze the advantages and

disadvantages of each method, and examine trends in tariff regulation using the example of the Republic of Tatarstan. The advantages of using digital technologies in the process of state regulation of natural monopolies are described. This analysis allows to consider the historical experience of regulating natural monopolies in other countries and, based on this, develop an optimal strategy for developing tariff regulation, taking into account the goals and objectives of the state and the current economic situation.

Keywords: Natural monopolies, government regulation, tariffs, tariff-setting methods, tariff regulation

В современной экономике большую роль играет вопрос координации функционирования естественных монополий. Вследствие того, что регулирование естественных монополий посредством рыночной конкуренции зачастую затруднено или невозможно в силу специфики отрасли, контроль за их деятельностью часто осуществляется на государственном уровне.

В каждой стране политика регулирования естественных монополий имеет свои отличия. В некоторых странах применяются методы регулирования естественных монополий, основанные на разработанном в Великобритании принципе RPI-X (скорректированный индекс потребительских цен) [1]. При применении этого метода цена на услуги естественных монополий рассчитывается по формуле P1 = P0 * (RPI – X), где RPI – индекс потребительских цен, X – корректирующая величина, P0 – цена в базовый период и P1 – цена в отчётный период. Величина X вычисляется на основе оценки издержек и предполагаемого повышения эффективности «эталонной» компании и утверждается регулирующим органом на долгосрочный период в несколько лет. Основная задача этого метода – постоянное стимулирование повышения эффективности деятельности регулируемых организаций. Метод предполагает ежегодное снижение величины тарифа на установленный процент за вычетом инфляции. Применение этого метода приводит к необходимости регулируемых организаций предпринимать меры для повышения эффективности своей деятельности. Метод RPI-X позволяет организациям получить прибыль, если они смогут оптимизировать свои затраты, однако его применение может негативно сказаться на качестве услуг, так как снижение качества – один из самых простых методов уменьшения расходов. Кроме того, такая модель несёт дополнительные риски для регулируемых организаций, если они по тем или иным причинам не смогут своевременно повысить эффективность своей деятельности.

В Германии применяется модифицированный вариант RPI-X, дополнительно включающий сравнение с наиболее эффективными организациями отрасли [2]. В соответствии с этим методом тарифного регулирования, если регулируемая организация функционирует эффективнее эталона, то она сможет получить дополнительную прибыль. В свою очередь, неэффективные организации терпят убытки.

В США применяется метод координации деятельности естественных монополий, обеспечивающий рентабельность регулируемых организаций. При определении тарифа учитываются не только издержки, но и некоторая заданная доходность, что обеспечивает отсутствие убытков для организации и позволяет ей получить некоторую прибыль. Недостатком данного метода является отсутствие стимулирования снижения убытков и повышения эффективности деятельности.

В Российской Федерации цены на услуги регулируемых организаций определяются установленными тарифами. Для определения величины тарифа на основе обоснованных затрат организации вычисляется необходимая валовая выручка. Определение этой величины важно для обеспечения экономической целесообразности деятельности регулируемой организации. Необходимая валовая выручка организации вместе с прогнозируемым объёмом поставок услуг потребителем предопределяют минимально допустимый тариф. Кроме того, в тариф могут быть заложены расходы на инвестиции в инфраструктуру, в том случае, если ей необходим ремонт или дополнительное расширение.

Максимальный тариф, в свою очередь, ограничен на законодательном уровне. В частности, статья 157.1. Жилищного кодекса Российской Федерации подразумевает ограничение повышения размера вносимой гражданами платы за коммунальные услуги предельными индексами [3]. Для Республики Татарстан указом Раиса Республики Татарстан от 13 декабря 2025 года № 1018 «О предельных (максимальных) индексах изменения размера вносимой гражданами платы за коммунальные услуги в муниципальных образованиях Республики Татарстан на 2026 год» [4] установлены предельные индексы на 2026 г.

До 2025 г. предельные индексы по Республике Татарстан устанавливались дифференцированно для различных городов и сельских поселений [5]. В настоящее время данные индексы имеют отличие только по типу населенного пункта. В связи с этим на рис. 1 отражено изменение индекса по сельской местности и по Казани.

Как видно из рис. 1, в 2026 г. планируется два повышения цен: до октября 2026 г. предельные индексы составят 1,7% для всех населенных пунктов, а с октября до конца 2026 г. для сельских поселений их размер будет равен 13,4%, для городов и посёлков городского типа – 18,2%. Рост цен обусловлен инфляцией, повышением НДС с 20% до 22%, а также необходимостью ремонта коммунальной инфраструктуры.

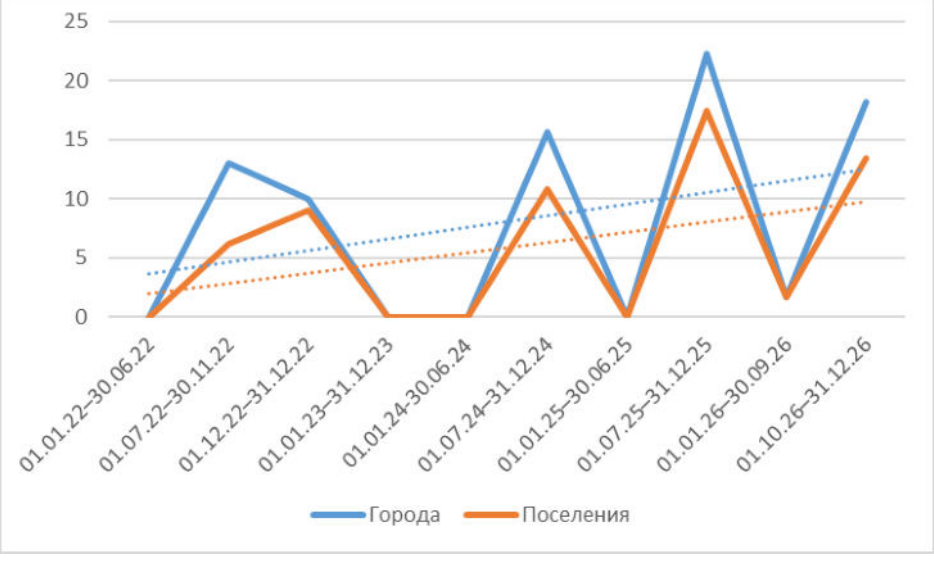


Рис. 1. Величина предельных индексов на коммунальные услуги в РТ (%)

Источник: составлено авторами.

Фактически данный метод регулирования основан на компенсации затрат. Его недостатком является слабая заинтересованность регулируемых организаций в повышении эффективности своей деятельности.

Используемые методы регулирования естественных монополий наилучшим образом достигают поставленных целей при условии применения цифровых технологий. Информатизация процессов государственного регулирования естественных монополий даёт возможность значительно повысить эффективность рассмотренных методов, например, анализ отчётности регулируемых организаций с применением цифровых технологий позволяет быстро проводить сравнительный анализ их эффективности и повысить общий уровень контроля за их деятельностью.

Компьютерная обработка отчётности регулируемых организаций открывает множество возможностей для быстрой и эффективной работы с данными. Информация, предоставляемая регулируемыми организациями, обычно содержит в себе множество показателей, что затрудняет ручную обработку данных. Цифровые технологии, особенно технологии искусственного интеллекта, позволяют быстро и эффективно работать с большими объёмами данных,

проводить их анализ во времени, а также отслеживать тенденции показателей эффективности деятельности как в целом по отрасли, так и для каждой отдельной организации. Кроме того, применение цифровых технологий позволяет совершать сложные агрегации данных по организациям и строить диаграммы для визуального представления данных. Такие диаграммы также способны повысить прозрачность ценообразования на услуги естественных монополий для конечного потребителя.

Таким образом, в различных странах применяются различные принципы регулирования естественных монополий, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. В некоторых странах приоритетом является увеличение эффективности отрасли в ущерб повышению рисков для организаций, в других – безубыточность и стабильность регулируемой отрасли. Грамотное использование данных методов позволит эффективно достигать намеченных государственных целей, имеющих наибольшую значимость в определенной экономической ситуации.

Список литературы

1. Мировой опыт регулирования естественных монополий // Институт экономики города. – URL: https://urbaneconomics.ru/node/4518.

2. Poltarykhin, A. Methods of tariff regulation in foreign power systems / A. Poltarykhin, I. Epishkin, N. Sheremet, A. Konobeeva, A. Oblizov // Revista Universidad y Sociedad. – 2022. – №14 (1). – p. 251-257.

3. Жилищный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 188-ФЗ (ред. от 20.02.2026). ст. 157.1 // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51057/64bb1d246e1da3a7626e8ac7107652e6cdff3e6c/.

4. Указ Раиса Республики Татарстан «О предельных (максимальных) индексах изменения размера вносимой гражданами платы за коммунальные услуги в муниципальных образованиях Республики Татарстан на 2026 год». – URL: https://kt.tatarstan.ru/file/pub/pub_4841270.pdf

5. Плата граждан за коммунальные услуги // Государственный комитет Республики Татарстан по тарифам. – URL: https://kt.tatarstan.ru/predelnie-maksimalnie-indeksi-izmeneniya-razmera-607547.htm.

УДК 004.85

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СИСТЕМЫ «ИИ-ГОСПЛАН 2.0» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В РЕГИОНАХ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Сафиуллин М.Р., д.э.н., профессор, проректор по вопросам экономического и стратегического развития ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», вице-президент Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0003-3708-8184;
E-mail: Marat.Safiullin@kpfu.ru;
Ельшин Л.А., д.э.н., доцент, заведующий кафедрой мировой и региональной экономики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», директор ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан»;
ORCID: 0000-0002-0763-6453;
E-mail: LAElshin@kpfu.ru;
Дерзаева Г.Г., к.э.н., доцент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-2530-2887;
E-mail: guzelchan@mail.ru

THE FUNCTIONAL POTENTIAL OF THE AI-GOSPLAN 2.0 SYSTEM FOR SOLVING IMPORT SUBSTITUTION PROBLEMS IN THE REGIONS OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT

Safiullin M.R., Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector for Economic and Strategic Development at Kazan Federal University, Vice-President of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0003-3708-8184;
Email: Marat.Safiullin@kpfu.ru;
Elshin L.A., Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Global and Regional Economy at Kazan Federal University, Director of the Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0002-0763-6453;
Email: LAElshin@kpfu.ru;
Derzaeva G.G., PhD in Economics, Associate Professor at Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-2530-2887;
E-mail: guzelchan@mail.ru

Аннотация

В исследовании рассматривается функциональный потенциал системы «ИИ-Госплан 2.0» с позиций её применимости к решению задач импортозамещения в регионах Приволжского федерального округа. Актуальность темы обусловлена усилением внешнего давления на технологический суверенитет страны, необходимостью координации разрозненных импортозамещающих проектов и поиском инструментов, способных обеспечить системность планирования на региональном уровне. Цель исследования состоит в систематизации заявленных функций платформы и выявлении организационных и правовых ограничений, снижающих её практическую эффективность в условиях региональной дифференциации ПФО. С применением методов контент-анализа публичных источников, сопоставительного анализа и логики в работе выделены функциональные модули системы, каждый из которых соотнесён с конкретными отраслевыми запросами округа, а также идентифицированы ключевые барьеры – от правовой неопределённости до межведомственной разобщённости и кадрового дефицита. В итоге обосновывается вывод, что переход от декларативных возможностей «ИИ-Госплана 2.0» к их практической реализации требует не столько доработки алгоритмической платформы, сколько синхронных изменений в институциональной среде, без которых применение системы рискует не только не дать ожидаемого эффекта, но и усугубить существующие диспропорции между регионами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ИИ-Госплан 2.0, импортозамещение, регионы ПФО, стратегическое планирование, институциональные ограничения, промышленные кластеры

Abstract

This study examines the functional potential of the AI-Gosplan 2.0 system from the perspective of its applicability to import substitution challenges in the regions of the Volga Federal District. The relevance of this topic is driven by increasing external pressure on the country's technological sovereignty, the need to coordinate disparate import-substitution projects, and the search for tools capable of ensuring systematic planning at the regional level. The goal of the study is to systematize the platform's stated functions and identify organizational and legal limitations that reduce its practical effectiveness in the context of the Volga Federal District's regional differentiation. Using content analysis of public sources, comparative analysis, and logic, the study identifies the system's functional modules, each of which is correlated with the district's specific industry needs, and identifies key

barriers, ranging from legal uncertainty to interdepartmental disunity and personnel shortages. As a result, the conclusion is substantiated that the transition from the declarative capabilities of the "AI-Gosplan 2.0" to their practical implementation requires not so much the refinement of the algorithmic platform, but rather synchronous changes in the institutional environment, without which the use of the system risks not only failing to produce the expected effect, but also exacerbating existing disparities between regions.

Keywords: Artificial intelligence, AI-Gosplan 2.0, import substitution, Volga Federal District regions, strategic planning, institutional constraints, industrial clusters

Введение

Вопрос о том, как именно государство собирается замещать импорт в нынешних геополитических реалиях, давно вышел за рамки сугубо отраслевых дискуссий. За последние два-три года стало очевидно: точечные меры поддержки отдельных предприятий, пусть и важные, не дают системного эффекта, если отсутствует единая «цифровая нервная система», способная увязать разрозненные проекты, научные заделы и кадровые ресурсы в некую общую картину. Именно в этом контексте в публичном поле всё чаще звучит проект, который его разработчики позиционируют как «ИИ-Госплан 2.0»[1] – платформу на базе искусственного интеллекта, призванную если не заново изобрести, то серьёзно переосмыслить инструментарий макроэкономического планирования. Правда, пока это звучит скорее как амбициозный концепт, чем как рабочий инструмент, и главная интрига заключается в том, насколько заявленные функциональные модули этой системы окажутся применимы к реальным территориям с их спецификой, узкими местами и наследием советской промышленной кооперации.

Самый естественный полигон для такой проверки – Приволжский федеральный округ. Здесь, в отличие от, скажем, сырьевых регионов или сугубо аграрных зон, промышленность по-прежнему определяет экономический ландшафт: автомобильные заводы в Нижнем Новгороде и Тольятти, авиастроительные предприятия в Самаре и Уфе, нефтехимические гиганты Татарстана и Башкортостана, оборонные производства в Удмуртии и Пермском крае. В каждом из этих сегментов проблема импортозамещения стоит по-своему остро, но при этом все они переплетены общими цепочками поставок, научными школами и, что немаловажно, дефицитом инженерных и рабочих кадров. В такой мозаике универсальные федеральные решения часто не срабатывают, а региональные инициативы, наоборот, страдают от разобщённости. Не здесь ли скрывается та самая ниша, где интеллектуальная система планирования могла бы проявить себя максимально полезно?

Чтобы ответить на этот вопрос, стоит хотя бы бегло перечислить те возможности, которые разработчики «ИИ-Госплана 2.0», в первую очередь Фонд «Кристалл роста» при поддержке Минвостокразвития, уже сейчас декларируют. Среди них – координация программ импортозамещения, расстановка приоритетов для НИОКР, прогнозирование кадровых потребностей, а также интеграция предприятий в промышленные кластеры и сценарное моделирование развития целых территорий.

Однако, прежде чем переходить к детальному разбору каждой из перечисленных функций, стоит оценить общий исследовательский фон, в котором сегодня обсуждаются любые вопросы, связанные с искусственным интеллектом. Если посмотреть на динамику научных публикаций, становится заметно: интерес к этой теме перестал быть уделом узкого круга специалистов и превратился в устойчивый тренд, который сложно игнорировать даже в сугубо прикладных экономических исследованиях.

На рис. 1 отразим динамику количества научных публикаций с упоминанием искусственного интеллекта, чтобы наглядно продемонстрировать, что интерес к ИИ – не кратко-

[1] https://crystalfund.ru/press-center/news/prototip-sistemy-ii-gosplan-2-gotov/

срочный хайп, а устойчивая траектория, которая затрагивает и фундаментальную науку, и прикладные разработки. Важно подчеркнуть, что речь идёт не только о компьютерных науках – всё больше публикаций появляется на стыке с экономикой, управлением, регионоведением, что создаёт методологическую базу для тех самых интеллектуальных систем планирования, о которых мы говорим. И в этом смысле «ИИ-Госплан 2.0» оказывается не изолированным экспериментом, а частью гораздо более широкого процесса переосмысления того, как данные и алгоритмы могут помогать принимать решения на разных уровнях – от корпоративного до макроэкономического.

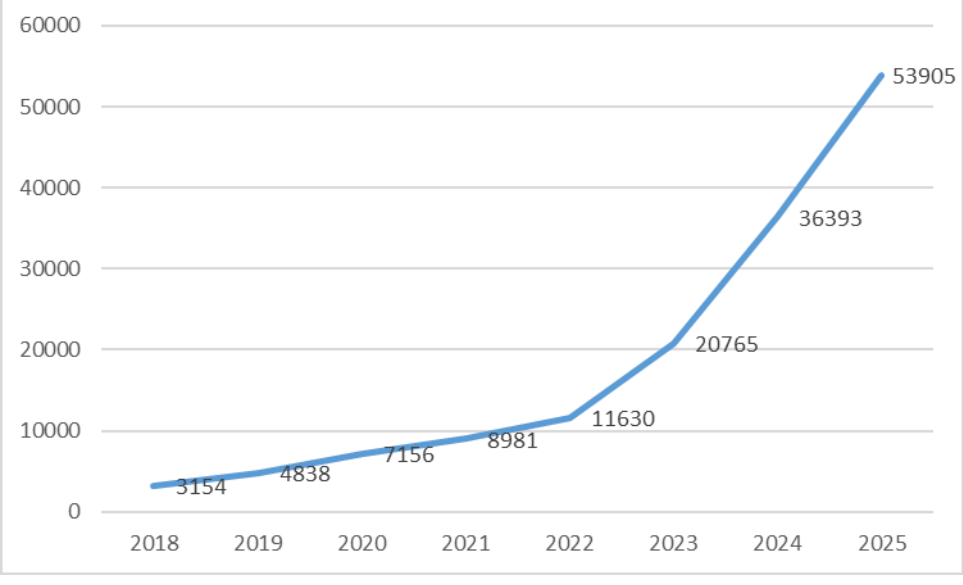


Рис. 1. Динамика количества научных публикаций с упоминанием искусственного интеллекта, ед.

Источник: составлено авторами по данным https://elibrary.ru[1]

Возвращаясь непосредственно к функциям «ИИ-Госплана 2.0» – а их, напомним, разработчики видят как минимум пять, – важно понимать, что каждая из них требует не только алгоритмической проработки, но и серьёзной адаптации к региональной специфике. Именно здесь, на стыке общемирового тренда на интеллектуализацию управления и локальных особенностей Приволжского федерального округа, и возникает основное поле для исследования.

Теоретическая база исследования

Теоретическую основу исследования составляют работы, которые можно условно разделить на три схожие группы. Первая группа посвящена роли искусственного интеллекта как драйвера экономических изменений. Автор Александрова [1] рассматривает цифровизацию и ИИ в качестве прорывных технологий, меняющих подходы к государственному управлению. Исследователи Замчий, Жафяров и Гогохия [2] акцентируют связь между внедрением ИИ и ростом конкурентоспособности национальной экономики. Ученый Выходец [3] вводит понятие «больших ИИ-пространств», связывая их с санкционными ограничениями и необходимостью пересмотра стратегических приоритетов.

Вторая группа работ сосредоточена на региональных аспектах импортозамещения и кластерной организации промышленности. Эксперт Воронов [4] обосновывает значимость распределенных кластеров как структурных элементов, способных обеспечить замещение импорта на региональном уровне. Аналитики Черемисинова, Смирнова и Чуйков [5] разрабатывают методику оценки импортозависимости территорий с учётом их инвестиционной

[1] https://elibrary.ru/query_results.asp

неоднородности. Авторы Летягина и Перова [6] анализируют применение ИИ для диагностики инновационных экосистем регионов, что напрямую соотносится с задачами настоящего исследования.

Третья группа включает работы, задающие более широкий концептуальный контекст. В своей статье Степанов [7] трактует ИИ как основу для построения киберэкономики, подчёркивая институциональные барьеры внедрения. В исследовании Кирко [8] через обращение к концепции Индустрии 5.0 показывает эволюцию взаимодействия человека и интеллектуальных систем в производственных процессах. В своих трудах Николаев [9] систематизирует внешние вызовы для российской экономики, создавая фон, на котором оценивается востребованность новых инструментов планирования. Монография под редакцией Камордженовой [10], несмотря на учётную направленность, важна как пример интеграции цифровых технологий в управленческий контур крупных предприятий.

Таким образом, представленные источники покрывают как макроэкономический, так и регионально-отраслевой уровни, что позволяет использовать их для анализа функционального потенциала «ИИ-Госплана 2.0» применительно к Приволжскому федеральному округу.

Методология исследования

Целью исследования является оценка функционального потенциала системы «ИИ-Госплан 2.0» с позиций её применимости к решению задач импортозамещения в регионах Приволжского федерального округа, а также выявление управленческих и информационных ограничений, которые могут снизить практическую эффективность данной платформы на региональном уровне.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– систематизировать заявленный функциональный набор «ИИ-Госплана 2.0» на основе доступных публичных источников, включая материалы разработчика Фонд «Кристалл роста» и данные ведомственных информационных сообщений;

– определить ключевые ограничения, связанные с межведомственной координацией и готовностью региональных управленческих структур к использованию платформенных решений подобного уровня.

Решение перечисленных задач обеспечивается применением следующего комплекса методов:

– метод анализа научной литературы и нормативных документов, позволяющий зафиксировать современное состояние дискуссии об ИИ в стратегическом планировании и идентифицировать пробелы в существующих исследованиях;

– метод контент-анализа публичных материалов о системе «ИИ-Госплан 2.0» – официальных заявлений, презентационных материалов, интервью разработчиков – с целью выделения устойчивого перечня заявленных функций и механизмов их реализации;

– методы логики для определения ключевых ограничений, с межведомственной координацией и готовностью региональных управленческих структур к использованию платформенных решений подобного уровня.

Результаты исследования

Результаты систематизации заявленного функционального набора «ИИ-Госплана 2.0» на основе доступных публичных источников, включая материалы разработчика Фонд «Кристалл роста» и данные ведомственных информационных сообщений представим в табл. 1.

Таким образом, табл. 1 представляет собой не только перечень функций, но и матрицу, позволяющую оценить каждую функцию по четырем критериям: её внутреннее содержание, задачи, потенциальный эффект для ПФО, а также условия, без которых реализация функции останется декларативной. Четвёртая колонка «Ключевые условия реализации», на наш взгляд, особенно важна, поскольку она показывает проблемные точки, где система может столкнуться с непреодолимыми барьерами, что задаёт логику для последующего анализа ограничений.

Таблица 1

Систематизация заявленного функционального набора «ИИ-Госплана 2.0»

№	Функциональный модуль	Задачи в рамках модуля	Предполагаемый эффект для ПФО	Ключевые условия реализации
1	Планирование распределения производственных мощностей	Балансировка загрузки мощностей между отраслями Оптимизация размещения заказов на предприятиях Перераспределение ресурсов между регионами	Снижение дисбаланса в загрузке крупных промышленных узлов ПФО, сокращение простоев	Наличие актуальной базы данных по загрузке мощностей всех предприятий, готовность бизнеса к раскрытию информации
2	Выявление и устранение разрывов в технологических цепочках	Картографирование производственных цепочек Идентификация критических импортных позиций Поиск альтернативных поставщиков внутри страны	Повышение связанности предприятий ПФО, снижение зависимости от внешних поставок по ключевым комплектующим	Цифровизация цепочек поставок на уровне предприятий, стандартизация данных о номенклатуре и объёмах
3	Прогнозирование потребности в кадрах	Оценка спроса на специалистов в разрезе отраслей Синхронизация прогнозов с планами приёма вузов Корректировка образовательных программ	Снижение кадрового дефицита в инженерных и рабочих специальностях, сокращение временного лага между прогнозом и подготовкой	Интеграция с образовательными платформами (вузы, колледжи), регулярное обновление данных по вакансиям
4	Координация программ импортозамещения	Увязка федеральных и региональных программ Мониторинг выполнения показателей Корректировка планов в ответ на санкционные изменения	Исключение дублирования проектов, концентрация ресурсов на ключевых направлениях	Межведомственная координация, цифровой обмен данными между уровнями власти
5	Определение приоритетов НИОКР	Ранжирование научных проектов по мультипликативному эффекту Привязка НИОКР к отраслевым запросам Оценка перспектив коммерциализации	Фокусировка научных школ ПФО (Самара, Казань, Нижний Новгород) на наиболее востребованных разработках	Единая база данных о НИОКР, экспертные системы оценки, доступ к корпоративным планам развития
6	Интеграция предприятий в кластеры	Анализ кооперационных связей Выявление дублирующих и недостающих компетенций Предложения по реконфигурации кластеров	Повышение эффективности существующих кластеров ПФО (автомобильного, авиационного, нефтехимического)	Участие предприятий в системе, отраслевые реестры Минпромторга
7	Сценарное моделирование и прогнозирование	Оценка влияния внешних факторов Просчёт альтернативных управленческих решений Создание «цифровых двойников» регионов	Возможность оперативной реакции на санкционные изменения, обоснование региональных стратегий	Наполнение модели достоверной статистикой, постоянная актуализация макропоказателей

Окончание табл. 1

№	Функциональный модуль	Задачи в рамках модуля	Предполагаемый эффект для ПФО	Ключевые условия реализации
8	Оптимизация инвестиционных планов	Ранжирование инвестпроектов по приоритетности Оценка бюджетной эффективности Синхронизация с региональными стратегиями	Перераспределение инвестиций в наиболее перспективные проекты ПФО, повышение отдачи от бюджетных вложений	Интеграция с региональными инвестиционными порталами, данные о бюджетных обязательствах

Источник: составлено авторами на основе открытых данных Фонда «Кристалл роста»[1], информационных сообщений Минвостокразвития России, публичных выступлений разработчиков в СМИ за период 2024–2026 гг.

Ключевые ограничения внедрения «ИИ-Госплана 2.0» в регионах Приволжского федерального округа отобразим в таблице 2.

Таблица 2

Ключевые ограничения внедрения «ИИ-Госплана 2.0» в регионах Приволжского федерального округа

Категория ограничений	Конкретное ограничение	Содержательная характеристика	Потенциальные последствия для ПФО
Правовые	Отсутствие единого правового режима для экспериментов с ИИ в госуправлении	Действующее законодательство не регламентирует порядок проведения правовых экспериментов при внедрении цифровых технологий в управленческий цикл; федеральные законы по стратегическому планированию содержат ограничения на применение новых технологических решений	Затруднена апробация пилотных проектов «ИИ-Госплана 2.0» на территории отдельных регионов ПФО; требуется изменение федерального законодательства для каждого нового функционального модуля
	Правовой вакуум в части ответственности за ИИ-решения	Отсутствие нормативного регулирования вопросов ответственности за решения, принятые с помощью ИИ, а также этических аспектов их применения	Региональные органы власти ПФО могут избегать использования системы в критически важных решениях из-за неопределённости правовых последствий
Организационно-управленческие	Фрагментация межведомственного взаимодействия	Сохраняется межведомственный юридически значимый электронный документооборот при отсутствии системного перехода к работе с данными; отсутствие единой стратегии внедрения ИИ приводит к точечным, изолированным проектам	Разрозненность данных по министерствам и ведомствам ПФО препятствует формированию целостной картины для ИИ-модели; региональные программы импортозамещения могут дублироваться
	Отсутствие единых стандартов данных	Не разработаны единые форматы временных рядов и согласованные единицы измерения ключевых индикаторов для региональных цифровых моделей	Сопоставление данных между регионами ПФО (Татарстан, Нижегородская, Самарская области) затруднено; снижается качество межрегиональных прогнозов

[1] https://crystalfund.ru/

Окончание табл. 2

Категория ограничений	Конкретное ограничение	Содержательная характеристика	Потенциальные последствия для ПФО
Информационно-технологические	Технологическая отсталость базовых систем	Значительная часть региональных органов власти работает на устаревшем, часто несовместимом между собой программном обеспечении и оборудовании; интеграция AI-решений становится сложной, дорогой, а иногда и невозможной	Предприятия ПФО с низким уровнем цифровизации не смогут интегрироваться в систему; «цифровой разрыв» между регионами округа усугубится
	Дефицит и неполнота исходных данных	Для работы системы требуются качественные и актуальные данные, однако в региональных разрезах они часто отсутствуют или фрагментарны; «необходимость качественных данных» — ключевое условие эффективности ИИ-инструментов	Прогнозы для отраслей ПФО (автопром, авиастроение, нефтехимия) могут быть неточными; решения, принятые на основе неполных данных, несут риски для региональной экономики
Кадровые	Дефицит компетенций у госслужащих	Многие государственные служащие не обладают не только навыками работы с ИИ, но и базовой цифровой грамотностью; отсутствие масштабных программ переподготовки и адаптации персонала	Региональные министерства ПФО не готовы эффективно использовать систему; сотрудники могут оказывать скрытое сопротивление изменениям
	Нехватка профильных специалистов в регионах	На региональном уровне наблюдается острый дефицит квалифицированных кадров в сфере ИИ и анализа данных	Регионы ПФО, не имеющие сильных IT-кластеров (кроме Нижегородской области и Татарстана), окажутся в неравных условиях при внедрении системы
Ресурсные	Финансовые барьеры	Внедрение ИИ-инфраструктуры требует значительных инвестиций, которые региональные бюджеты не всегда могут обеспечить	Регионы ПФО с низкой бюджетной обеспеченностью не смогут финансировать необходимую модернизацию; углубление межрегионального неравенства

Источник: составлено авторами.

На основе ключевых ограничений внедрения «ИИ-Госплана 2.0» в регионах Приволжского федерального округа в табл. 2 можно заключить, что основным барьером выступает не технологическая неготовность самой платформы, а институциональные и организационные разрывы: фрагментация межведомственного взаимодействия, отсутствие единых стандартов данных, правовая неопределённость в вопросах ответственности за ИИ-решения и дефицит компетенций у государственных служащих. При этом указанные ограничения распределяются по регионам ПФО крайне неравномерно – территории с развитыми IT-кластерами и более высоким уровнем цифровизации управления, такие как Республика Татарстан и Нижегородская область, окажутся в существенно более выигрышной позиции по сравнению с остальными, где потребуется значительная подготовительная работа по модернизации базовых систем

и повышению цифровой грамотности персонала. Следовательно, эффективное внедрение платформы в контуре регионального управления невозможно без синхронных изменений в смежных областях – правовом регулировании, координации ведомств и кадровой политике, а сама система рискует воспроизвести и даже усилить существующие диспропорции между регионами, если эта институциональная подготовка не будет проведена заблаговременно и на системной основе. Таким образом, заявленный функциональный потенциал «ИИ-Госплана 2.0» остаётся в значительной мере декларативным до тех пор, пока не будут устранены перечисленные ограничения, и именно скорость и качество этой подготовительной работы, а не алгоритмические характеристики платформы, будут определять реальные границы применения искусственного интеллекта в стратегическом планировании импортозамещения на уровне субъектов Приволжского федерального округа.

Вывод

Проведённое исследование подтвердило, что интерес к применению искусственного интеллекта в стратегическом планировании действительно высок, о чём свидетельствует устойчивый рост числа публикаций по тематике ИИ за последние годы, а также активное обсуждение концепции «ИИ-Госплана 2.0» на различных экспертных площадках. Вместе с тем анализ научной литературы и публичных материалов о системе показал, что декларируемые разработчиками функции платформы редко становились предметом критической оценки с позиций их реальной применимости к конкретным территориям, особенно с учётом региональной специфики и существующих административных барьеров. Это обстоятельство выявило научную проблему, заключающуюся в отсутствии систематизированного представления о том, какие именно функции «ИИ-Госплана 2.0» могут быть содержательно наполнены применительно к отраслевой структуре того или иного федерального округа и какие организационные условия для этого необходимы.

Предложенная в работе систематизация заявленного функционального набора в табл. 1 позволила выделить девять ключевых модулей, каждый из которых, при всей своей концептуальной привлекательности, требует для реализации целого ряда предпосылок – от наличия актуальных данных о загрузке мощностей до межведомственной координации на уровне региона. Дальнейший анализ ограничений, представленный в табл. 2, выявил, что основными препятствиями выступают не технологические, а институциональные факторы: правовая неопределённость в вопросах ответственности за ИИ-решения, фрагментация межведомственного взаимодействия, дефицит квалифицированных кадров в региональных органах власти и неравномерность цифровизации субъектов ПФО. Примечательно, что большинство этих ограничений не связаны с работой самой платформы, а коренятся в сложившейся практике управления и нормативном поле, что существенно сужает горизонт практического применения системы в обозримой перспективе.

Научная новизна работы состоит в том, что в отличие от большинства существующих исследований, сосредоточенных либо на общих преимуществах ИИ-планирования, либо на отдельных отраслевых кейсах, в данном исследовании предпринята попытка комплексного анализа функционального потенциала «ИИ-Госплана 2.0» сквозь призму региональных институциональных ограничений. Впервые в рамках одной работы систематизированы функции системы и соотнесены с конкретными условиями Приволжского федерального округа, а также выявлены критические точки, где декларируемые возможности вступают в противоречие с реальной управленческой практикой. Полученные результаты могут служить основой для корректировки подходов к внедрению интеллектуальных платформ в регионах, смещая фокус с разработки самой системы на подготовку институциональной среды, без которой любые технологические нововведения останутся лишь декларацией намерений, а региональные диспропорции – не только сохранятся, но и потенциально усугубятся.

Благодарность

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности по проекту № FZSM – 2026 – 0012 «Применение искусственного интеллекта и моделей машинного обучения в формировании макроэкономических стратегий импортозамещения и технологического лидерства регионов Приволжского федерального округа».

Список литературы

1. Александрова, Т. Я. Цифровизация и искусственный интеллект как прорывные технологии в РФ / Т. Я. Александрова // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 11. – С. 6-8. – EDN WUHDNO.

2. Замчий, Ф. С. Исследование перспектив развитие искусственного интеллекта как ключевого инструмента экономической эффективности и конкурентоспособности страны / Ф. С. Замчий, Д. Х. Жафяров, А. Л. Гогохия // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 5(142). – С. 177-180. – DOI 10.34925/EIP.2022.142.5.034. – EDN TEGTDV.

3. Выходец, Р. С. Большие ИИ-пространства и стратегия России в условиях санкционной войны / Р. С. Выходец // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Международные отношения. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 256-270. – DOI 10.22363/2313-0660-2022-22-2-256-270. – EDN FYNYWU.

4. Воронов, А. С. Роль региональных распределенных кластеров в решении задач импортозамещения / А. С. Воронов // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2017. – № 2 (92). – С. 162-168. – EDN YNTSCN.

5. Черемисинова, Д. В. Совершенствование инструментария для оценки импортозависимости и потенциала импортозамещения в условиях неоднородности инвестиционного состояния регионов Российской федерации / Д. В. Черемисинова, Е. А. Смирнова, А. С. Чуйков // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 5-3. – С. 487-493. – DOI 10.17513/vaael.2237. – EDN GDTGKO.

6. Летягина, Е. Н. Искусственный интеллект в анализе региональных инновационных экосистем Российской Федерации в условиях импортозамещения / Е. Н. Летягина, В. И. Перова // Экономический анализ: теория и практика. – 2024. – Т. 23. – №. 5. – С. 834.

7. Степанов, Д. А. Искусственный интеллект как путь к созданию интеллектуальных машин для киберэкономики в условиях импортозамещения / Д. А. Степанов // Экономика и социум: современные модели развития. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 345-356. – DOI 10.18334/ecsoc.10.4.111410. – EDN PGFZJG.

8. Кирко, В. И. Искусственный интеллект и Индустрия 5.0: концепция Пяйви Аалтонен и Эмиля Курвинена / В. И. Кирко // Социология искусственного интеллекта. – 2025. – Т. 6, № 1. – С. 23-50. – EDN GKXTVF.

9. Николаев, И. А. Стратегические вызовы для российской экономики в 2026 году / И. А. Николаев // AlterEconomics. – 2026. – Т. 23, № 1. – С. 10-25. – DOI 10.31063/AlterEconomics/2026.23-1.2. – EDN QYULNK.

10. Актуальные методы формирования, анализа и контроля отчетности системообразующих корпоративных структур : монография / И. Н. Богатая, Г. Г. Дерзаева, И. Н. Дерновская [и др.] ; под общ. ред. Н.А. Камордженовой. – Москва : Русайнс, 2022. – 279 с. https://book.ru/book/947656.

УДК 630.90:330.15

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ФГИС ЛК ПРИ ВЕДЕНИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Сингатуллин И.К., доцент;
ORCID: 0000-0002-7241-3467;
E-mail: betule2@mail.ru;
Петрова Г.А., доцент;
ORCID: 0000-0003-0244-891X;
E-mail: guzel-petrva@rambler.ru;
Ятманова Н.М., доцент кафедры лесоводства и лесных культур ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-9243-5270;
E-mail: nadegda827@yandex.ru

ANALYSIS OF THE USE OF FGIS LC IN FORESTRY MANAGEMENT IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Singatullin I.K., Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-7241-3467;
E-mail: betule2@mail.ru;
Petrova G.A., Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-0244-891X;
E-mail: guzel-petrva@rambler.ru;
Yatmanova N.M., Associate Professor of the Department of Silviculture and Forest Culture, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-9243-5270;
E-mail: nadegda827@yandex.ru

Аннотация

В статье представлен анализ использования ФГИС ЛК в системе лесного хозяйства Республики Татарстан. Установлено, что информационная система лесного комплекса позволяет благодаря наличию информации ускорить процесс оформление отпуска древесины, внесение данных о проведении рубок. В информационной системе отслеживается движение заготовленной древесины из лесосеки до переработчиков и конечных потребителей. Благодаря внедрению ФГИС ЛК в несколько раз снизится ущерб от незаконных рубок, сократились сроки предоставления отчетов об использования лесов. Информационная система позволила перевести предоставление услуг юридическим и физическим лицам в дистанционный формат, уменьшив коррупционные риски. Наличие общедоступной информации позволяет получать необходимые сведения гражданам и юридическим лицам, отслеживать соблюдение Лесного законодательства. Из-за разных подходов при лесоустройстве в системе ФГИС ЛК затрудняется оформление отпуска древесины из государственного лесного фонда, из-за системных сбоев в сети Интернет возможны затруднения своевременное оформление документов при реализации древесины.Внедрение ФГИС ЛК в системе лесного хозяйства Республики Татарстан показывает свою эффективность и будет совершенствоваться, что позволит на 100% перевести ведение лесного хозяйства на цифровой платформе.

Ключевые слова: Федеральная государственная информационная система лесного комплекса (ФГИС ЛК)**,** цифровизация, база данных, лесные насаждения, отпуск древесины

Abstract

The article presents an analysis of the use of the Federal State Information System for Forestry in the Republic of Tatarstan. It has been established that the information system of the forestry complex allows for the acceleration of the process of issuing timber and entering data on logging operations. The information system tracks the movement of harvested timber from the logging site to processors and final consumers. The implementation of the Federal State Information System for Forestry has significantly reduced the damage caused by illegal logging and shortened the time required to submit reports on forest use. The information system has made it possible to provide services to legal entities and individuals in a remote format, reducing corruption risks. The availability of publicly accessible information allows citizens and legal entities to obtain the necessary information and monitor compliance with forest legislation. However, due to different approaches in forest management, the FGIS LC system makes it difficult to process the release of timber from the state forest fund, and system failures on the Internet can cause delays in the timely processing of documents for the sale of timber.The implementation of the FGIS LC in the forestry system of the Republic of Tatarstan has proven to be effective and will continue to be improved, allowing for 100% digitalization of forestry management.

Keywords: Federal State Information System for the Forestry Complex (FGIS LC), digitalization, database, forest plantations, and timber release

Введение

Наша страна является крупнейшей лесной державой в мире. Лесные ресурсы России являются одними из основных социально-экономических ресурсов развития страны. Для интенсификации лесопользования необходимо внедрение современных технологий – цифровизации лесного хозяйства. Работы в этом направлении идут очень активно [1-3].

Одним из успешных примеров является ФГИС ЛК. Федеральная государственная информационная система лесного комплекса (ФГИС ЛК) – цифровая платформа, объединяющая в себе десятки государственных услуг, сведения Государственного лесного реестра, актуальные данные в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, лесоразведения, учета древесины и ее прослеживаемости, учета информации о сделках с ней [4-5].

Разработка и внедрение единой информационной платформы в лесном комплексе были предусмотрена ещё в 2018 г. в соответствии с Распоряжением Правительства от 20.09.2018 №1989-р. Первоначально запуск системы был намечен на 2023 г., но подготовка потребовала больше времени. Полный переход лесопользователей на ФГИС ЛК с ЕГАИС Лес был осуществлен с 1 января 2025 г.

Согласно Приказа Минприроды РФ от 15.06.2023 № 728 «Об утверждении Концепции создания ФГИС ЛК» назначение ФГИС ЛК состоит в следующем:

1. Формирование единой информационной среды для государственных инстанций и лесопользователей, в которой будут представлены достоверные данные, в том числе картографические, о российском лесном фонде.

2. Взаимодействие пользователей и органов власти с помощью интерактивных сервисов.

3. Широкое внедрение автоматизированных процессов, электронного документооборота в лесной отрасли, в том числе для подготовки отчётов.

4. Автоматизация поступления, обработки и анализа информации, включая спутниковой, о состоянии лесов.

5. Борьба с незаконной вырубкой леса, транспортировкой и сделками с древесиной.

6. Предоставление пользователям информации о состоянии лесов, отдельных участков местности, справочных, аналитических и других данных – открытых и служебных в зависимости от уровня доступа.

Целями внедрения ФГИС ЛК являются:

– предоставление государственных и муниципальных онлайн-услуг в области лесных отношений для физических и юридических лиц, государственных и общественных организаций;

– предоставление достоверных данных, необходимых для работы в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, лесоразведения, переработки древесины и иных лесных ресурсов;

– предоставление оперативной и достоверной информации о текущем состоянии и изменениях лесных участков, об участниках лесных отношений в Российской Федерации».

ЛК представлен тремя основными подсистемами: картой лесов (в виде модуля), рабочими зонами для лесопользователей (включает учёт, отчётность и ЭДО) и должностных лиц органов власти (для контроля и взаимодействия).

Объектами исследований являлись участки лесных насаждений ГКУ «Сабинское лесничество» Республики Татарстан, на которых ГБУ «Учебно-опытный Сабинский лесхоз» согласно государственного задания проводит лесохозяйственные мероприятия, проведение которых регистрируются в ФГИС ЛК.

Согласно материалов последнего лесоустройства, в лесном фонде Сабинского лесничества преобладают по площади липа и береза, немного ей по площади уступают насаждения ели (рис. 1).

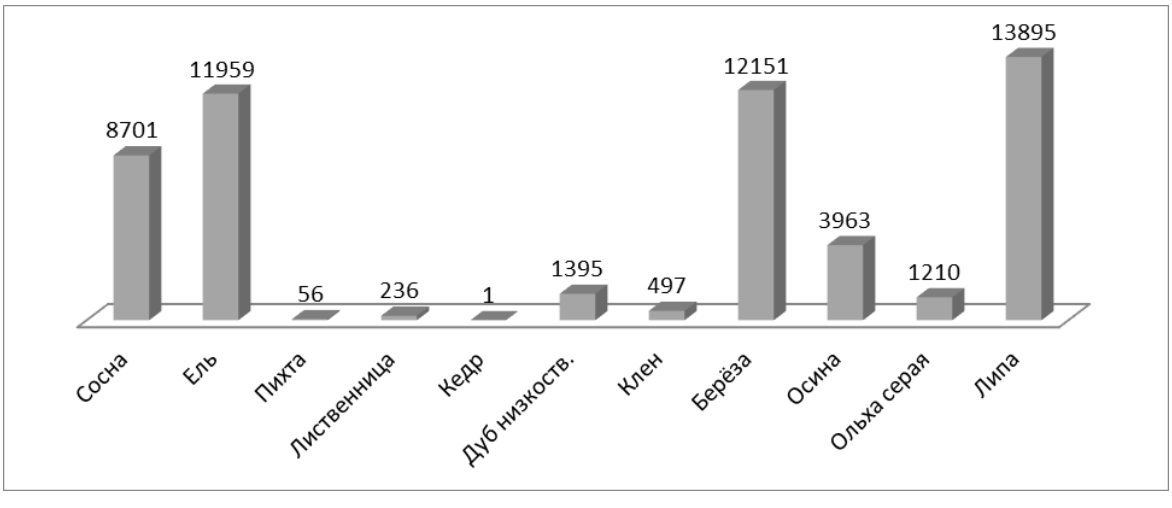


Рис. 1. Распределение пород по Сабинскому лесничеству по площади (га)

Древостои в основном разновозрастные смешанного состава, в березняках и липняках второй ярус и подрост представлен елью, при вырубке ели происходит смена на березу и липу.

Для пользования ФГИС ЛК лесничество или лесопользователь должны зарегистрироваться. Каждый сотрудник лесничества, который работает в системе ФГИС ЛК должен быть зарегистрирован в системе и пользоваться рабочим местом должностного лица. Сотрудники лесопользователя входят в систему через кабинеты руководителей лесхозов.

Любой гражданин РФ имеет возможность после регистрации во ФГИС ЛК просмотреть «Доступные разделы общедоступной информации о лесах» [6-7].

Оформление отпуска древесины во ФГИС ЛК.

Для заключения договоров купли-продажи лесных насаждений, расположенных на землях лесного фонда, без проведения торгов необходимо найти в разделе «Мои задачи» задачу с типом «Принять решение по заявлению на заключение договора купли-продажи лесных насаждений».

Каждому заключенному «Договору купли-продажи лесных насаждений» на ФГИС ЛК присваивается уникальный номер – пример РЛХ-20260108-5053895.

После заключения договора купли-продажи и его регистрации оформляется Таксационное описание лесосеки (ТОЛ) на ФГИС ЛК, который содержит информацию о характеристиках лесных насаждений и объеме древесины, подлежащей заготовке на соответствующей

лесосеке, и составляется на основании данных, полученных по результатам отвода и таксации лесосеки. Каждой лесосеке присваивается индивидуальный учетный номер, который состоит из учетного номера субъекта федерации, лесничества, участкового лесничества, квартала, выдела и разделителя в виде двоеточия, букв «ЛС» например, 16:29:4:11;ЛС1. Пример Сводной ведомости сформированных ТОЛ по Сабинскому лесхозу с присвоенными номерами лесосек представлен на рис 2.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Учетный номер лесосеки	Пользовательский номер лесосеки	Участковое лесничество	Лесной квартал	Лесоустроительный номер лесного квартала	Общая площадь лесосеки	Выдел
2	16:29:4:11:ЛС1	2	Мешебашское	16:29:4:11	211	0.5	18
3	16:29:4:11:ЛС2	3	Мешебашское	16:29:4:11	211	3.5	23
4	16:29:4:11:ЛС3	4	Мешебашское	16:29:4:11	211	2.3	24
5	16:29:4:11:ЛС4	3	Мешебашское	16:29:4:11	211	5.0	13
6	16:29:4:11:ЛС5	2	Мешебашское	16:29:4:11	211	27.0	7
7	16:29:4:11:ЛС6	5	Мешебашское	16:29:4:11	211	6.6	16
8	16:29:4:11:ЛС7	4	Мешебашское	16:29:4:11	211	3.5	15
9	16:29:4:11:ЛС8	6	Мешебашское	16:29:4:11	211	2.3	17
10	16:29:4:11:ЛС9	7	Мешебашское	16:29:4:11	211	5.0	19
11	16:29:4:11:ЛС10	10	Мешебашское	16:29:4:11	211	1.8	26
12	16:29:4:11:ЛС11	11	Мешебашское	16:29:4:11	211	5.0	29
13	16:29:4:11:ЛС12	8	Мешебашское	16:29:4:11	211	20.5	20
14	16:29:4:11:ЛС13	9	Мешебашское	16:29:4:11	211	2.5	21

Рис. 2. Сводная ведомость сформированных ТОЛ по Сабинскому лесхозу с присвоенными номерами лесосек

При оформлении экспликации ТОЛ возникают проблемы из-за различных форматов картографических материалов государственного лесного реестра что связано с различными исполнителями работ по лесоустройству в предыдущие годы.

Контроль реализации древесины

При заготовке, транспортировке древесины, хранении древесины, производстве продукции, переработки древесины и учете сделок с древесиной лесозаготовители, переработчики древесины и её поставщики работают в информационной государственной системе лесного комплекса через личные кабинеты на ФГИС ЛК [8-9].

Основная задача гос. системы – фиксировать все этапы оборота подконтрольных объектов во ФГИС ЛК: учёт древесины, её приёмку, переработку, списание, заключение сделок, транспортировку.

Основные объекты учёта – древесина и продукты её переработки. Формировать в системе, передавать и фиксировать нужно отчёты о балансе и переработке, электронные сопроводительные документы на транспортировку, места складского хранения, объекты инфраструктуры лесопереработки, а также транспорт, который задействован в перевозках и различных лесных работах.

Согласно законодательства, древесина, реализуемая государственными бюджетными учреждениями (ГБУ «Лесхоз») из лесосеки согласно заключенного договора купли-продажи, реализуется через аукционы. ГБУ «Сабинский учебно-опытный лесхоз» реализует древесину через Петербургскую товарно-сырьевую биржу. Покупатель должен быть зарегистрирован на данной бирже. Покупатель составляет с ГБУ «Лесхоз» договор о приобретении древесины. Данные о продавце, покупателе и номер договора купли автоматически заносятся во ФГИС ЛК, например, ЖУСД-001/2025-00644861.

При перевозке древесины на лесосеке через мобильное приложение оформляется собственниками древесины Электронный сопроводительный документ (ЭСД), в котором отражаются время, данные лица и автомобиля, номер сделки, пункт оформления, пункт назначения, вид древесины и объем (рис. 3).

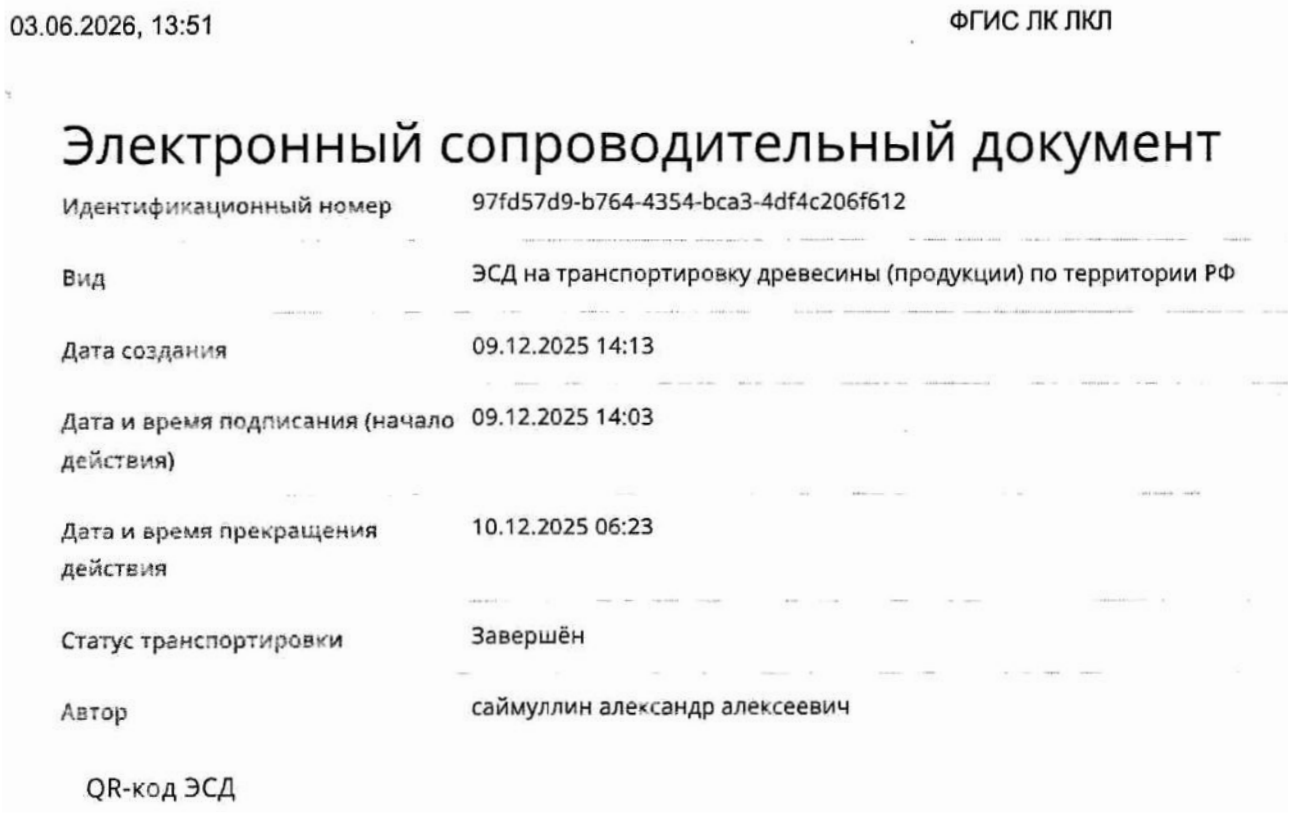


Рис. 3. Пример оформленного ЭСД при перевозке древесины

Все автомобили, перевозящие древесину, должны быть оснащены ГЛОНАСС и внесены в программу ФГИС ЛК.

После проведения рубки в системе оформляется Отчет об использовании, к Отчету прилагаются материалы фотофиксации лесосеки, изготовленные с использованием специального программного обеспечения.

Выводы

Анализ применения ФГИС ЛК при ведении лесного хозяйства в Республике Татарстан позволил выявить достоинства и недостатки применения системы.

Положительные аспекты:

1. Единая база данных, ее доступность.
2. Прозрачность деятельности пользователей леса и контроль за движением древесины.
3. Значительное сокращение срока подачи отчетов – раньше 15 дней, сейчас не более 5 дней.
4. По данным Рослесхоза, ущерб от незаконных рубок после внедрения снизится до 1,6 млрд. рублей (сейчас более 30 млрд. руб.).

Отрицательные аспекты:

1. Отсутствие единой структуры имеющихся цифровых данных в ГЛР.
2. Дорогое оснащение транспорта системой ГЛОНАСС.
3. Невозможность своевременного оформления сопроводительных документов из-за возможных системных сбоев в сети Интернет.

Список литературы

1. Внедрение ФГИС ЛК в 2024 году: к чему стоит готовиться отрасли? [Электронный ресурс] ForestComplex.ru: [офиц. сайт]/ – Электрон. дан. – Режим доступа: https://forestcomplex.ru/digital-environment/vnedrenie-fgis-lk-v-2024-godu-k-chemu-stoitgotovitsya- otrasli/, свободный (дата обращения: 01.07.2026). – Загл. с экрана.

2. Носков, В. А. От ЛесЕГАИС к ФГИС ЛК: цифровизация лесной отрасли в России / В. А. Носков // Политические, экономические и социокультурные аспекты регионального управления на Европейском Севере : Материалы XVII Всероссийской научной конференции (с международным участием), Сыктывкар, 22–24 апреля 2024 года. – Сыктывкар: Коми республиканская академия государственной службы и управления, 2024. – С. 78-82. – EDN DDTLVX.

3. Карева, В. А. Проблемы цифровизации лесного сектора и необходимость внедрения портала ФГИС ЛК / В. А. Карева // Цифровизация землепользования и землеустройства: тенденции и перспективы, Москва, 29 ноября 2022 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Государственный университет по землеустройству, 2023. – С. 431-436. – EDN GVMNAC.

4. Приказ Минприроды РФ от 15.06.2023 № 728 «Об утверждении Концепции создания ФГИС ЛК»1. ФГИС ЛК. Информационные материалы [Электронный ресурс] Федеральное Агентство лесного хозяйства: [офиц. сайт] / – Электрон. дан. – Режим доступа: https: // rosleshoz.gov.ru / information_systems /fgis_lk_information, свободный (дата обращения: 01.07.2026). – Загл. с экрана.

5. Хотяновская, Е. В. Цифровые инструменты управления в лесном хозяйстве: переход от ЛесЕГАИС к ФГИС ЛК / Е. В. Хотяновская, А. А. Супрун // Цифровое общество: образование, экономика, технологии : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 18–19 марта 2026 года. – Москва: ООО «Актуальность.РФ», 2026. – С. 263-267.

6. Черкасов, Н. С. ФГИС ЛК. Анализ изнутри / Н. С. Черкасов // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых высшей школы естественных наук и технологий САФУ – 2024: Сборник материалов научно-практической конференции, Архангельск, 01–30 апреля 2024 года. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2024. – С. 256-262.

7. Носков, В. А. Зарубежный опыт использования «цифровых» технологии для решения проблем истощения и инвентаризации лесов / В. А. Носков // Социально-экономические, демографические и исторические исследования на Севере России – Подоплеловские чтения: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Сыктывкар, 17–19 декабря 2025 года. – Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2026. – С. 338-344.

8. Chandrakant Singh, Shivesh Kishore Karan, Purnendu Sardar, Sukha Ranjan Samadder, Remote sensing-based biomass estimation of dry deciduous tropical forest using machine learning and ensemble analysis // Journal of Environmental Management, Volume 308, 2022, 114639, ISSN 0301-4797. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114639.

9. Устюгов, Д. В. Perspectives of use of modern information technologies for forestry [Электронный ресурс] / Д. В. Устюгов, Д. О. Квочкин // Journal of Industrial Pollution Control. – 2021. – Режим доступа: https: //www.icontrolpollution. com/articles/ perspectives-of-use-of-modern-information-technologiesfor-forestry.php?aid=85956 (дата обращения: 18.06.2026).

УДК 332.146.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Тумаков И.К., аспирант ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-3349-1444;
E-mail: ilyastumakov12@gmail.com

USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN DEVELOPING REGIONAL STRATEGIES FOR SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

Tumakov I.K., Postgraduate Student, Center for Advanced Economic Research, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-3349-1444;
E-mail: ilyastumakov12@gmail.com

Аннотация

В современных условиях устойчивое развитие регионов во многом определяется их способностью формировать и эффективно использовать собственный научно-технологический и инновационный потенциал. Однако существующие подходы к развитию региональных научно-технологических систем не в полной мере учитывают возрастающее влияние цифровых технологий на процессы формирования новых направлений экономики, развития инновационных кластеров и обеспечения территорий необходимыми кадрами. Возникает проблема определения механизмов использования цифровых технологий для укрепления научно-технологического и инновационного потенциала региона и повышения его конкурентоспособности.

Ключевые слова: цифровые технологии, цифровизация, региональное развитие, научно-технологическое развитие, региональная стратегия, стратегическое планирование, инновационное развитие, цифровая трансформация, регионы, управление развитием

Abstract

In the current environment, the sustainable development of regions is largely determined by their ability to build and effectively utilize their own scientific, technological, and innovation potential. However, existing approaches to developing regional scientific and technological systems do not fully account for the growing impact of digital technologies on the emergence of new economic sectors, the development of innovation clusters, and the provision of necessary human resources. This gives rise to the challenge of identifying mechanisms for leveraging digital technologies to strengthen a region's scientific, technological, and innovation potential and enhance its competitiveness.

Keywords: digital technologies, digitalization, regional development, scientific and technological development, regional strategy, strategic planning, innovation development, digital transformation, regions, development management

Введение

Региональные стратегии научно-технологического развития (НТР) направлены на рост инновационного и научно-технологического потенциала территорий, укрепление экономиче-

ской диверсификации и повышение качества жизни населения. Типичные цели таких стратегий – создание конкурентоспособной инновационной экосистемы, развитие приоритетных отраслей (промышленность 4.0, агротехнологии, искусственный интеллект (ИИ) и др.), синергия науки и бизнеса, повышение уровня образования и качественный рост человеческого капитала. В условиях цифровизации экономики и общества при разработке стратегий всё чаще используются информационно-коммуникационные технологии (ИКТ): Географические информационные системы (ГИС) для картирования ресурсов, большие данные и ИИ для анализа и прогнозирования, цифровые двойники для моделирования, онлайн-платформы для общественного участия, блокчейн для прозрачности, облачные сервисы и визуализация для обработки и представления данных. Эти технологии позволяют повысить обоснованность стратегических решений и эффективность их реализации. Цель нашего исследования – проанализировать, каким образом цифровые инструменты интегрируются в разработку региональных НТР-стратегий, и оценить их эффекты, риски и лучшие практики.

Методика исследования

Работа построена как обзор литературы и сравнительный анализ кейсов. Были изучены рецензируемые статьи, отчёты международных организаций (OECD, Всемирный банк) [1, 2, 3, 4], а также официальные документы и пресс-релизы регионов (Россия, ЕС, Азия, Африка). Для обеспечения сопоставимости материалов из различных юрисдикций использовалась единая аналитическая рамка, включающая следующие критерии: уровень развития научно-технологического и инновационного потенциала, степень цифровизации экономики и государственного управления, наличие механизмов поддержки инновационных кластеров, состояние кадрового обеспечения и характер реализуемых региональных научно-технологических стратегий. Критерии отбора кейсов: наличие задокументированной стратегии развития с использованием цифровых технологий, географическое разнообразие (минимум 4 региона: включая РФ и зарубежные примеры), доступность информации (прямые источники, публикации 2015–2026 гг.). Основные категории изучаемых технологий: ГИС, большие данные, ИИ, машинное обучение (МО) цифровые двойники, блокчейн, облачные сервисы, средства визуализации. Для анализа интеграции технологий в стратегирование использовались методики системного планирования, проектной аналитики и управления [5].

В качестве возможных метрик эффективности рассматривались экономические показатели (рост валового регионального продукта (ВРП), инвестиции, сокращение издержек), скорость принятия решений (время реагирования на изменение ситуации), вовлечённость стейкхолдеров (число участников консультаций, уровень удовлетворённости), социальные эффекты (новые рабочие места, инновационные продукты) и др. [6]. При отсутствии точных данных мы обозначали показатели как «неопределено/нет данных».

Критерии отбора технологий по этапам стратегии включали их функциональность: диагностика (картирование и анализ текущего состояния), прогнозирование (моделирование будущих трендов), моделирование/симуляция (проработанные сценарии стратегии), мониторинг (контроль реализации и KPI в реальном времени), вовлечение общественности (сбор обратной связи, совместное планирование), реализация (трансформация проектов) [7, 8]. На основе этого составлена сравнительная таблица (табл. 1).

Результаты

Цифровые технологии в процессах стратегического планирования.

Заключение

Таким образом, цифровизация постепенно меняет сам подход к региональному стратегическому управлению. Современные технологии позволяют не только быстрее собирать и обрабатывать информацию, но и переходить от анализа уже произошедших событий к моделированию возможных сценариев будущего. Одновременно повышается прозрачность управленческих процессов и расширяются возможности взаимодействия с населением.

Таблица 1

Сравнение технологий по этапам разработки стратегии

Технология	Диагностика	Прогнозирование	Моделирование/ симуляция	Мониторинг	Вовлечение	Реализация
ГИС (GIS)	Пространственный анализ, картографирование ресурсов региона	Демографические и инфраструктурные тренды (геопрогноз)	3D-моделирование инфраструктуры региона	Слежение за изменениями в пространстве	Публичные карты и сбор местных данных	Карты проектов и ИТС
Большие данные	Обработка больших статистических и сенсорных данных	Прогноз на основе трендовых моделей (экономика, экология)	Аналитические сценарии (поведенческое моделирование)	Онлайн-дашборды ключевых показателей	Анализ общественного мнения и обратной связи	Оптимизация стратегических решений
ИИ/МО	Выявление скрытых связей в данных региона	Детальные прогнозы развития (прогноз спроса, ресурсов)	Оптимизация сценариев, авт. принятие решений	Авто-мониторинг, умные оповещения	Чат-боты, анализ предложений от граждан	Поддержка автоматизации управления
Цифровые двойники	Виртуальная репрезентация региона (базовая модель)	Тестирование сценариев (что если)	Имитация реализации стратегий, контроль логики	Режим реального времени, синхронизация	Демонстрация альтернативных вариантов	Верификация реализаций (smart contracts)
Платформы участия	Сбор идей и проблем от жителей	Учёт общественного мнения при планировании	Презентация «моделей» решений для обсуждения	Мониторинг настроений и критики	Форуми, онлайн-опросы, голосования	Обратная связь на стадии реализации
Блокчейн	Аудит публичных данных, реестр результатов	–	–	Создание прозрачной цепочки транзакций	Доверенный регистр участников (proof of vote)	Контроль исполнения контрактов
Облачные сервисы	Централизованное хранение данных	Высокопроизводительные вычисления для прогнозов	Масштабируемые симуляции	Сбор и интеграция данных мониторинга	Платформа для онлайн-участия	Управление ИТ-инфраструктурой
Визуализация	Инфографика диагностики, интерактивные карты	Графики трендов и симуляций	Интерактивные 3D-модели	Дашборды KPI, отчёты о статусе	Инфографика и карты для граждан	Отчёты по выполнению стратегии

Отдельные результаты исследований также свидетельствуют о потенциальном эффекте от сочетания цифровых двойников с современными методами машинного обучения, включая квантовые алгоритмы. При этом цифровая трансформация регионального стратегирования не сводится исключительно к приобретению нового программного обеспечения. Её полноценное внедрение требует организационных и кадровых изменений. Возникает необходимость повышения цифровой грамотности руководителей и специалистов, создания механизмов обмена данными между различными ведомствами, устранения разобщённости информационных систем и освоения современных методов обработки и интерпретации данных. Следовательно, максимальный эффект от цифровых технологий возможен только при их интеграции в общую систему стратегического управления, а не при использовании отдельных цифровых решений изолированно друг от друга. Эксперты отмечают, что именно «фрагментация информационных систем, отсутствие предиктивной аналитики и дисбаланс кадров» являются серьёзными рисками при реализации стратегии. Без создания «цифрового каркаса» (единых платформ, хранилищ, аналитической среды) и подготовки персонала (обучение ИТ-навыкам) технологиям трудно раскрыть весь потенциал.

Список литературы

1. OECD. How can AI help make better regional development policies in Korea (Policy Paper, 2025).

2. Southern California Association of Governments. Planning for Emerging Technologies: Artificial Intelligence & Big Data (White Paper, 2023).

3. OECD, Tackling Civic Participation Challenges with Emerging Technologies (Report, 2023).

4. World Bank Blogs, Gourfinkel et al., Blockchain-based audit trails for public funds (2025).

5. Interoperable Europe, Bologna's Digital Twin: Enhancing Decisions and Citizen Engagement (EU TechWatch, 2023).

6. Abdi & Nozari, QML и Digital Twin в смарт-цепях поставок (Transformative Science, 2025).

7. University of Pretoria News, «Future-fit African cities: Digital Twin City» (2021).

УДК 528.48:911.3

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ LIDAR

Яхин И.Ф., к.с-х.н., старший преподаватель;
ORCID: 0009-0000-9453-3358;
E-mail: ildarsuper97@bk.ru;
Трофимов Н.В., к.с-х.н., доцент кафедры землеустройства и кадастров ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1672-8007

GEOSPATIAL ANALYSIS AND CREATION OF DIGITAL TWINS OF MUNICIPALITIES BASED ON LIDAR DATA

Yakhin I.F., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer;
ORCID: 0009-0000-9453-3358;
E-mail: ildarsuper97@bk.ru;
Trofimov N.V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Land Management and Cadastres Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1672-8007

Аннотация

В эпоху цифровой трансформации городского хозяйства технологии лазерного локационного зондирования (LiDAR) становятся незаменимым средством построения высокоточных пространственных моделей. Цель работы – оценить эффективность совместного использования воздушного (ALS), мобильного (MLS) и наземного (TLS) лазерного сканирования при решении градостроительных задач на уровне муниципалитетов. Исследование проведено на территории Заинского района Республики Татарстан, отличающейся сложным рельефом и разнородной застройкой. Обработка данных включала геопривязку, фильтрацию и классификацию облака, состоящего из 2,8 млрд точек, с итоговой плотностью 15,6 точек/м². Построенная цифровая модель рельефа имеет точность 0,03 м, что позволяет использовать её для топографических планов масштаба 1:500. В результате автоматической классификации выявлены 8247 зданий, 156,3 км дорог и 78 500 деревьев. На основе трёхмерных моделей вычислены градостроительные показатели, в том числе коэффициент застройки и коэффициент плотности застройки. Экономическая оценка показывает, что применение LiDAR сокращает геодезические работы в 7–9 раз и даёт прямую экономию бюджета 4,57 млн руб. на изысканиях. Кроме того, оперативный контроль строительства по данным LiDAR позволяет предотвращать ежегодные убытки до 50 млн руб. Полученные данные подтверждают целесообразность внедрения лазерного сканирования в информационные системы градостроительной деятельности для создания цифровых двойников территорий. Комплексный подход к изучению городской среды способствует рациональному использованию ресурсов и повышению качества жизни населения.

Ключевые слова: лазерное сканирование, цифровой двойник, градостроительство, воздушное сканирование, мобильное сканирование, цифровая модель рельефа, муниципальное управление, облако точек

Abstract

As urban economies undergo rapid digitalization, Light Detection and Ranging (LiDAR) technologies are emerging as essential tools for producing high-accuracy spatial models. This study aims to evaluate the effectiveness of integrating airborne (ALS), mobile (MLS), and terrestrial (TLS) laser scanning for municipal-level urban planning. The research was conducted in the Zainsky District of the Republic of Tatarstan, which features a rugged terrain and varied building patterns. The data processing workflow included georeferencing, noise filtering, and classification of a 2.8-billion-point point cloud, achieving a final density of 15.6 points/m². The resulting digital terrain model (DTM) has an accuracy of 0.03 m, meeting the requirements for 1:500-scale topographic mapping. Automated classification identified 8,247 buildings, 156.3 km of road networks, and 78,500 trees. Using the 3D models, key urban indices such as building coverage ratio and floor area ratio were computed. Economic assessment reveals that LiDAR implementation reduces geodetic survey time by 7–9 times and yields direct budget savings of 4.57 million RUB. Moreover, timely construction monitoring based on LiDAR data can prevent annual losses of up to 50 million RUB. The findings support the integration of laser scanning into urban information systems for developing digital twins of territories. A comprehensive approach to urban environment analysis facilitates resource optimization and enhances the quality of life, contributing to sustainable municipal development.

Keywords: laser scanning, digital twin, urban planning, airborne scanning, mobile scanning, digital terrain model, municipal management, point cloud

Введение

Современный этап развития урбанизированных территорий характеризуется необходимостью перехода к новым парадигмам территориального планирования, основанным на принципах устойчивого развития и концепции «умных городов». Традиционные геодезические методы, несмотря на свою фундаментальную значимость, зачастую не обеспечивают не-

обходимой скорости и детальности при обследовании обширных муниципальных образований. В этих условиях технологии дистанционного зондирования Земли, в частности лазерное сканирование, выходят на передний план как инструмент создания непрерывных трехмерных моделей местности [1]. Актуальность исследования обусловлена потребностью муниципальных образований в оперативном получении достоверной информации о рельефе, застройке и инженерных сетях для принятия обоснованных градостроительных решений. Целью данной статьи является обоснование эффективности комбинированного подхода к сбору и обработке данных лазерного сканирования для задач градостроительного проектирования и формирования цифровых двойников территорий на примере Заинского района Республики Татарстан.

Методика

Территория Заинского муниципального района, площадь которой составляет 1861,6 км², отличается сложным эрозионно-денудационным рельефом с перепадами высот до 80 метров, высокой лесистостью речных долин и наличием крупных промышленных объектов. Для обеспечения комплексного пространственного представления урбанизированной среды была разработана методика комбинированного лазерного сканирования, интегрирующая воздушное, мобильное и наземное сканирование [3, 7].

Воздушное лазерное сканирование выполнялось с использованием беспилотного летательного аппарата, что позволило обеспечить высокую плотность облака точек в городских зонах и на открытых территориях. Мобильное сканирование было применено для детальной фиксации улично-дорожной сети, элементов благоустройства и инженерной инфраструктуры. Наземное сканирование использовалось для высокоточного моделирования сложных промышленных объектов, таких как Заинская ГРЭС. Обработка данных в камеральных условиях включала PPK/RTK-коррекцию траекторий, удаление шумов с помощью статистических и радиальных фильтров и классификацию точек в соответствии со стандартом ASPRS LAS 1.4. Для каждого класса объектов применялись отдельные алгоритмы, что позволило добиться высокой точности сегментации. Конечная точность построенной цифровой модели рельефа составила 0,03 м, что полностью отвечает нормативным требованиям для инженерно-геодезических работ при создании топографических планов масштаба 1:500 и более крупных.

Основная часть

По итогам полевых и камеральных работ обработан массив из 2,8 млрд точек. С применением методов машинного обучения и автоматической классификации из облака точек извлечена структурированная информация об объектах инфраструктуры и природных элементах территории. В границах населённых пунктов района идентифицировано 8247 зданий, оцифровано 156,3 км автомобильных дорог с твёрдым покрытием и учтено 78 500 деревьев с оценкой биомассы и проективного покрытия. Сравнительный анализ методов сканирования (табл. 1) показывает, что они эффективно дополняют друг друга при решении комплексных градостроительных задач.

Таблица 1

Сопоставление методов лазерного сканирования для обследования муниципальных территорий

Метод сканирования	Охват территории	Плотность точек, точек/м²	Производительность	Основное назначение
Воздушное (ALS)	1861,6 км²	8–30	50–100 км²/день	Создание базовой ЦМР, анализ рельефа

Окончание табл. 1

Метод сканирования	Охват территории	Плотность точек, точек/м²	Производительность	Основное назначение
Мобильное (MLS)	~350 км дорог	100–500	30–50 км/день	Инвентаризация дорожной сети, фасадов
Наземное (TLS)	0,1–0,5 км²	1000–5000	0,1–0,3 км²/день	Моделирование промышленных объектов

Полученные трехмерные векторные модели и цифровые модели местности стали базой для расчета ключевых градостроительных индексов. В отличие от традиционных кадастровых данных, LiDAR-модели позволяют учитывать фактическую высоту и объем зданий, что значительно повышает точность планировочных расчетов [4]. В табл. 2 представлены результаты расчета градостроительных индексов для основных функциональных зон города Заинска.

Таблица 2

Градостроительные индексы для функциональных зон города Заинска

Функциональная зона	Коэффициент застройки (BCR)	Коэффициент интенсивности (FAR)	Коэффициент озеленения (GSR)	Средняя этажность
Центральная деловая зона	0,38	1,52	0,12	4,0
Жилая многоэтажная застройка	0,32	1,92	0,25	6,0
Жилая индивидуальная застройка	0,18	0,36	0,42	2,0
Промышленная зона	0,24	0,48	0,08	2,0
Рекреационная зона	0,02	0,02	0,78	1,0

Анализ данных показывает, что в центральной части города коэффициент интенсивности использования территории (FAR) достигает 1,52, что свидетельствует о высокой плотности застройки и требует особого внимания при проектировании новых объектов и оценке инсоляции [5]. Внедрение LiDAR-технологий в градостроительные процессы муниципалитета демонстрирует выдающиеся показатели временной и экономической эффективности. Сравнение с традиционными тахеометрическими и GNSS-методами показывает сокращение сроков выполнения комплекса геодезических работ в 7–9 раз. Полевые работы, которые ранее занимали до 220 дней, были выполнены за 14 дней. Камеральная обработка и создание ЦМР сократились с 150 до 31 дня.

Наибольший экономический эффект достигается не только на стадии изысканий, но и при строительном контроле. Сопоставление проектных моделей с фактическими LiDAR-данными на этапах земляных работ и возведения фундаментов позволяет выявлять коллизии и отклонения на ранних стадиях [6]. Для Заинского района, где ведется активное промышленное и жилищное строительство, предотвращение критических ошибок позволяет экономить от 20 до 50 млн рублей ежегодно [8]. Интегральные показатели эффективности внедрения технологии представлены в табл. 3.

Таблица 3

Интегральные показатели эффективности внедрения LiDAR-технологий

Показатель эффективности	Значение	Комментарий
Прямая экономия на изысканиях	4,57 млн руб.	За счет снижения трудозатрат и полевых расходов
Сокращение сроков работ	В 7–9 раз	Интенсификация сбора данных средствами ALS и MLS
Предотвращенный ущерб	20–50 млн руб./год	При своевременном контроле геометрии строительства
Срок окупаемости оборудования	1,8 года	С учетом затрат на приобретение и обработку

Выводы

Результаты, полученные в Заинском районе, показывают, что комбинация трёх видов лазерного сканирования (воздушного, мобильного и наземного) даёт надёжную основу для градостроительных задач. Построенная по нашему алгоритму цифровая модель рельефа имеет погрешность 0,03 м при плотности облака 15,6 точек/м² – эти параметры полностью закрывают нормативы для подготовки градостроительной документации. Автоматическая обработка 2,8 млрд точек позволила не только пересчитать все значимые объекты (здания, дороги, деревья), но и оперативно получить градостроительные индексы по зонам. С экономической стороны выгода очевидна: трудоёмкость геодезических работ снижается в 7–9 раз, бюджет на изыскания экономит 4,57 млн руб. – это делает LiDAR-технологию финансово доступной для муниципалитетов. В перспективе стоит задача не просто хранить эти данные, а встраивать их в действующие городские информационные системы, чтобы на их основе строить цифровые двойники и использовать их при принятии решений [9, 10].

Список литературы

1. Иванов, В. В. Технологии лазерного сканирования для создания трехмерных моделей городских территорий / В. В. Иванов // Геодезия и картография. – 2021. – № 4. – С. 45–52.

2. Smith J., Doe A., Williams R. Airborne LiDAR for urban morphology analysis: A comprehensive review // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2021. – Vol. 178. – P. 112–128.

3. Chen X., Wang Y., Zhang L. Mobile laser scanning for infrastructure inventory and 3D city modeling // Automation in Construction. – 2022. – Vol. 135. – P. 104–115.

4. Петров, А. С. Формирование цифровых двойников муниципальных образований на основе данных дистанционного зондирования / А. С. Петров // Пространственный анализ и геоинформатика. – 2022. – № 2. – С. 112–119.

5. Müller A., Schmidt T., Weber K. Economic efficiency of LiDAR technologies in municipal urban planning // Land Use Policy. – 2020. – Vol. 99. – P. 104–112.

6. Wang Y., Li Z., Liu H. Deep learning approaches for point cloud classification in urban environments // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15. № 4. – P. 890–905.

7. Смирнова, Е. С. Оптимизация геодезических работ при градостроительном проектировании с использованием мобильных сканеров / Е. С. Смирнова // Вестник геодезии и фототопографии. – 2020. – № 5. – С. 30–36.

8. Brown T., Davis M. Integration of digital twins in smart city governance: Challenges and opportunities // Cities. – 2022. – Vol. 124. – P. 103–114.

9. Кузнецов, И. М. Методы автоматической классификации облаков точек для кадастровых работ / И. М. Кузнецов // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2021. – № 8. – С. 22–28.

10. Сидоров, П. К. Применение нейросетевых алгоритмов при обработке данных лазерного сканирования / П. К. Сидоров // Геоинформатика. – 2023. – № 1. – С. 55–63.

ЦИФРОВАЯ ИНДУСТРИЯ 4.0

УДК 004.94: 628.512

DIGITAL OPTIMIZATION OF GEOMETRIC PARAMETERS FOR INERTIAL-TYPE DUST SETTLING DEVICES TO ENHANCE GAS CLEANING EFFICIENCY

Abdullina A.A., student, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-1380-4433;
Nguyen Vu Linh, Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam;
Ziangirov A.F., Asst., Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-4025-828X

ЦИФРОВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНЕРЦИОННЫХ ПЫЛЕОСАДОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Абдуллина А.А., студент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1380-4433;
Нгуен Ву Линь, Ханойский промышленный университет, Ханой, Вьетнам;
Зиангиров А.Ф., ассистент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0001-4025-828X

Abstract

Improving the efficiency of industrial gas cleaning from fine particulate matter is one of the priority tasks of modern industrial ecology. Existing inertial dust collectors using arc-shaped or V-shaped reflecting elements are characterized by the formation of reverse gas flows, leading to the re-entrainment of already deposited particles and a decrease in the overall collection efficiency. This paper proposes a new approach to the digital optimization of the geometric parameters of an inertial-type dust settling device, in which equal-leg angle plates with an internal angle α are used as separators, providing a directed rebound of particles toward the apex of the angle with subsequent dissipation of their kinetic energy. Numerical studies were performed in the Ansys Fluent software package using the k-ω SST turbulence model and the Discrete Phase Model in a three-dimensional formulation. A multi-variant parametric simulation was conducted to investigate the influence of the internal angle of the equal-leg angle plates α in the range from 45° to 150° and the inclination angle of the lower wall of the receiving hopper β on the gas cleaning efficiency at inlet velocities of 0.5 and 1 m/s. It was shown that increasing the angle α beyond 90° leads to the formation of recirculation zones and a decrease in collection efficiency. The results of the digital optimization confirm that the application of computational fluid dynamics methods enables the purposeful improvement of dust collection equipment design, ensuring a synergistic effect of directed particle rebound and minimization of their recirculation, which fully aligns with the principles of digital transformation of industrial processes within the Industry 4.0 concept.

Keywords: digital optimization, Industry 4.0, dust settling device, inertial separation, equal-leg angle plates, computational fluid dynamics, gas cleaning efficiency, particle recirculation, virtual prototyping

Аннотация

Повышение эффективности очистки промышленных газов от мелкодисперсных частиц является одной из приоритетных задач современной промышленной экологии. Существующие инерционные пылеуловители, использующие дугообразные или V-образные отражающие элементы, характеризуются возникновением обратных газовых потоков, что приводит к повторному уносу уже осажденных частиц и снижению общей эффективности улавливания. В данной работе предложен новый подход к цифровой оптимизации геометрических параметров инерционного пылеосадительного устройства, в котором в качестве сепараторов используются равнополочные уголковые пластины с внутренним углом α, обеспечивающие направленный отскок частиц к вершине угла с последующим рассеянием их кинетической энергии. Численные исследования проводились в программном комплексе Ansys Fluent с использованием модели турбулентности k-ω SST и модели дискретной фазы (Discrete Phase Model) в трехмерной постановке. Было выполнено многовариантное параметрическое моделирование для изучения влияния величины внутреннего угла α равнополочных пластин (в диапазоне от 45° до 150°) и угла наклона β нижней стенки приемного бункера на эффективность очистки газа при входных скоростях потока 0,5 и 1 м/с. Показано, что увеличение угла α свыше 90° приводит к образованию зон рециркуляции и снижению эффективности улавливания. Результаты цифровой оптимизации подтверждают, что применение методов вычислительной гидродинамики позволяет целенаправленно совершенствовать конструкцию пылеулавливающего оборудования, обеспечивая синергетический эффект за счет направленного отскока частиц и минимизации их рециркуляции, что полностью соответствует принципам цифровой трансформации промышленных процессов в рамках концепции «Индустрия 4.0».

Ключевые слова: цифровая оптимизация, Индустрия 4.0, пылеосадительное устройство, инерционная сепарация, равнополочные уголковые пластины, вычислительная гидродинамика, эффективность очистки газа, рециркуляция частиц, виртуальное прототипирование

Introduction

Industrial enterprises in the energy, chemical, metallurgical, and construction sectors face mounting pressure to reduce atmospheric emissions of particulate matter while maintaining operational efficiency and controlling costs. According to United Nations estimates, approximately 2.5 million tons of dust are released into the atmosphere annually, with the proportion of fine particles smaller than 10 μm – representing the greatest health and environmental risks – continuing to increase [1; 2]. In this context, improving the design of dust collection equipment and enhancing the capture efficiency of fine particulate matter while simultaneously reducing energy consumption and maintenance expenditures has become a critical scientific and engineering challenge.

Among various types of dust collection apparatus, inertial dust settling devices occupy an important position due to their simple construction, absence of moving parts, ability to operate at high temperatures and in aggressive environments, and relatively low operating costs [3]. The operating principle is based on abrupt changes in gas flow direction when interacting with reflecting elements, causing dust particles – which possess greater inertia – to deviate from gas streamlines and settle into a receiving hopper. However, conventional inertial apparatus designs utilizing arc-shaped or V-shaped reflecting elements suffer from a significant drawback: when the gas flow interacts with concave surfaces, reverse currents and recirculation zones form, promoting re-entrainment of already deposited fine particles back into the cleaned gas stream [4].

The industry 4.0 paradigm opens new opportunities for addressing such challenges through computational modeling and parametric optimization methods [5]. Modern computational fluid dynamics software packages enable detailed analysis of three-dimensional velocity, pressure, and particle trajectory fields within complex geometry apparatus, identification of stagnation zones, recirculation regions, and secondary entrainment areas, as well as purposeful variation of design parameters to achieve target efficiency indicators. This digital optimization approach, based on multi-variant num-

erical experimentation, allows substantial reduction of design timelines, elimination of costs for manufacturing multiple physical prototypes, and deeper understanding of the physical mechanisms governing separation efficiency.

The purpose of this work is digital optimization of geometric parameters for a next-generation inertial-type dust settling device in which equal-leg angle plates serve as separators, providing directed particle rebound toward the apex of the angle and minimization of recirculation. To achieve this goal, the following tasks are addressed: development of a three-dimensional numerical model using the k-ω SST turbulence model and discrete phase model; parametric investigation of the influence of internal angle α of equal-leg plates and hopper wall inclination angle β on cleaning efficiency; determination of optimal geometric parameter ranges; and substantiation of the efficiency enhancement mechanism through directed particle rebound.

Research methodology

Numerical investigations were performed using Ansys Fluent computational fluid dynamics software in a three-dimensional problem formulation. The investigated inertial-type dust settling device consists of a housing containing concave reflecting elements separators configured as equal-leg angle plates with internal angle α, parallel plates, V-shaped elements, dust transport channels, a receiving hopper, and an exhaust pipe (Fig. 1). The fundamental distinction of the proposed design from known analogues is that the separators are not the V-shaped elements themselves, but rather equal-leg angle plates ensuring symmetric contact of plate shelves directly at the vertex of angle α. The frontal surface of V-shaped elements fits tightly against the opposite side of the following plate, forming channels for transporting captured dust into the receiving hopper. The lower wall of the receiving hopper is inclined at angle β to the vertical, ensuring stable sliding of the dust mixture during discharge and preventing stagnation.

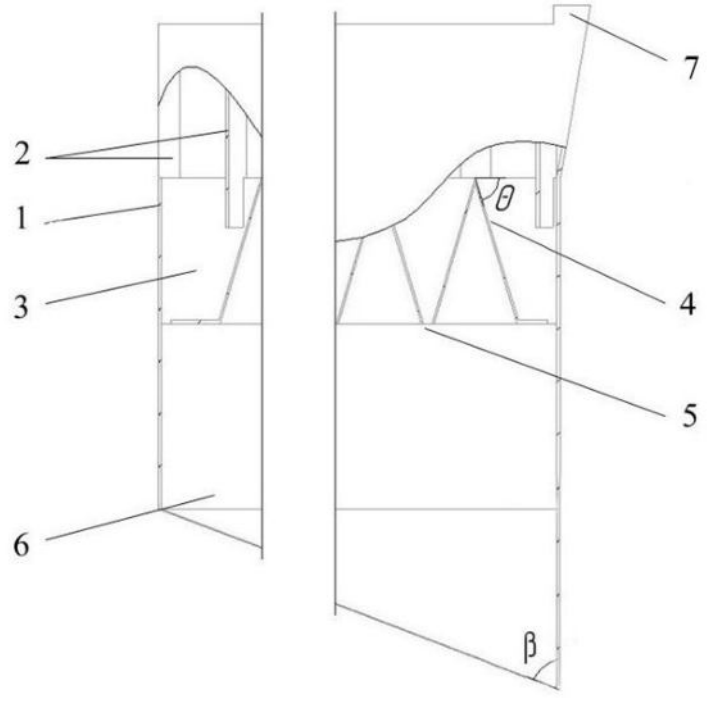


Figure 1. Schematic diagram of inertial-type dust settling device (longitudinal section):
1 – housing; 2 – separators; 3 – parallel plates; 4 – V-shaped elements; 5 – dust transport channels;
6 – receiving hopper; 7 – exhaust pipe

The k-ω SST (Shear Stress Transport) turbulence model, developed by F.R. Menter [8], was selected as the turbulence model. This model combines advantages of the standard k-ω model in the near-wall region with robust characteristics of the k-ε model in the flow core, ensuring accurate pre-

diction of separated flows, recirculation zones, and pressure gradients in complex geometry channels. For modeling solid particle movement in the gas flow, the Discrete Phase Model in Lagrangian formulation was employed, enabling calculation of individual particle trajectories considering aerodynamic drag forces, gravity, and inertial effects.

The spacing between V-shaped elements in the baseline configuration was 50 mm, with the number of separator rows set at an even number equal to 8. Uniform gas flow velocity W was specified at the inlet pipe, varying from 0.5 to 1 m/s, corresponding to typical operating modes of industrial inertial dust collectors. Atmospheric pressure boundary condition was set at the apparatus outlet. The solid phase was modeled as a set of spherical particles with density characteristic of industrial dusts, with particle diameter varied across a wide range for constructing fractional efficiency curves. Impermeability condition was specified for apparatus walls regarding the gas phase, while trap condition was set for hopper walls and reflect condition for separator surfaces regarding the solid phase.

Digital optimization approach and parametric analysis

Within the digital optimization framework, a multi-variant parametric study was conducted systematically varying two key geometric parameters: the internal angle of equal-leg angle plates α in the range from 45° to 150° and the inclination angle of the lower receiving hopper wall β. The main series of numerical experiments was performed at a fixed value β = 30°, which was preliminarily determined as optimal, ensuring stable removal of captured dust from the hopper without hang-up or secondary entrainment.

Analysis of numerical modeling results revealed substantial dependence of cleaning efficiency on the magnitude of internal angle α. At angle α = 45° (Fig. 2), the most favorable flow structure is observed: dust particles colliding with the surface of equal-leg angle plates undergo directed rebound toward the apex, where their kinetic energy is effectively dissipated through multiple collisions with opposite walls. Captured particles then move under gravity along inclined channels formed by tight fitting of frontal surfaces of V-shaped elements to adjacent plates, entering the receiving hopper. At gas velocity of 0.5 m/s, capture efficiency for particles larger than 5 μm reaches 97.5%, and remains at a high level when velocity increases to 1 m/s.

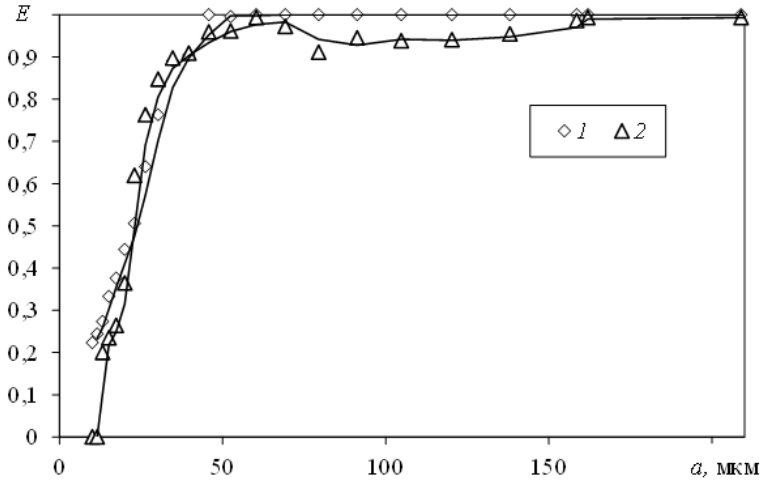


Figure 2. Dependence of cleaning efficiency E on particle diameter a at angle α = 45° and various gas supply velocities W, m/s: 1 – 0.5; 2 – 1

When the internal angle increases to 60° and 90° (Fig. 3), the general trend persists: the mechanism of directed particle rebound toward the angle apex continues to function effectively, providing high capture degree. At angle α = 90°, cleaning efficiency for particles larger than 10 μm practically does not differ from indicators at α = 45°; however, for the finest fractions smaller than 5 μm, some efficiency reduction is observed, attributable to decreased tangential velocity component of rebound and, consequently, less intensive kinetic energy dissipation of particles at the angle vertex.

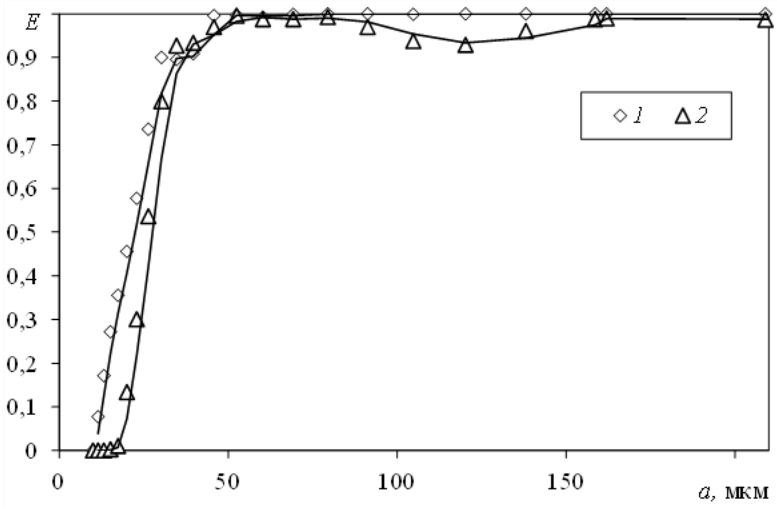


Figure 3. Dependence of cleaning efficiency E on particle diameter a at angle α = 90° and various gas supply velocities W, m/s: 1 – 0.5; 2 – 1

Qualitatively different behavior is observed when increasing angle α to 120° and 150°. At angle α = 120° (Fig. 4), the geometry of reflecting plates ceases to provide effective directed particle rebound toward the center. Instead, a significant portion of particles after colliding with the plate deflects toward the ascending gas flow, leading to their repeated capture and entrainment through the exhaust pipe. Capture efficiency of fine fractions decreases substantially.

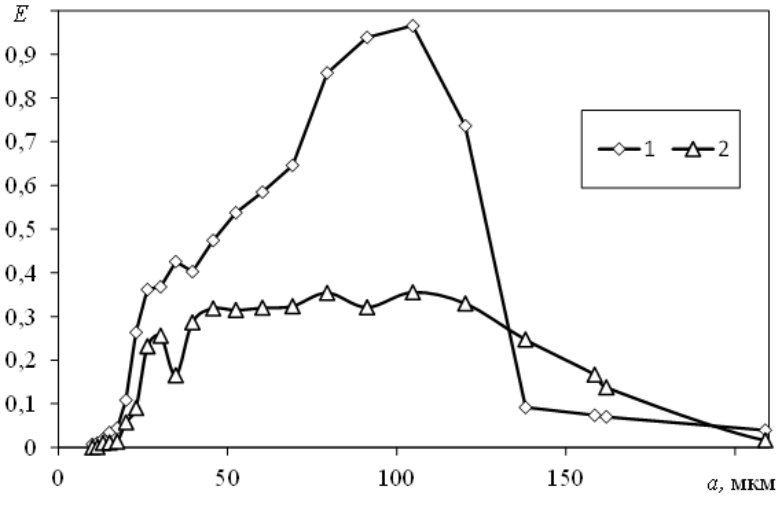


Figure 4. Dependence of cleaning efficiency E on particle diameter a at angle α = 120° and various gas supply velocities W, m/s: 1 – 0.5; 2 – 1

At angle α = 150° (Fig. 5), formation of reverse currents and recirculation zones becomes the dominant factor: cleaning efficiency drops sharply, especially in the fine particle region, clearly confirming the critical importance of selecting the correct internal angle range.

Thus, digital optimization results unambiguously indicate that the optimal range of internal angle for equal-leg angle plates is α = 45–90°. Within this range, a synergistic effect is realized: directed particle rebound toward the angle apex ensures effective kinetic energy dissipation, while tight fitting of V-shaped elements to adjacent plates forms isolated channels through which captured dust is transported to the hopper, excluding contact with the main gas flow. The lower hopper wall inclination angle β = 30° additionally promotes timely removal of accumulated dust, preventing stagnation and secondary entrainment.

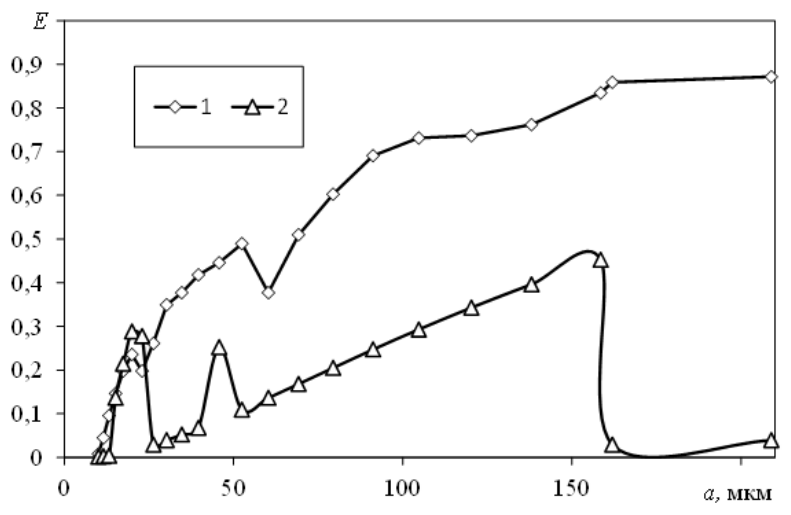


Figure 5. Dependence of cleaning efficiency E on particle diameter a at angle α = 150° and various gas supply velocities W, m/s: 1 – 0.5; 2 – 1

Physical mechanisms of particle separation

The superior performance of the proposed design compared to conventional inertial separators can be attributed to several interconnected physical mechanisms revealed through digital optimization.

The first mechanism involves directed particle rebound toward the apex of equal-leg angle plates. When particles collide with the plate surface at the optimal angle range α = 45–90°, the geometry ensures that the rebound direction is oriented toward the vertex of the angle rather than back into the main gas stream. This geometric constraint fundamentally differs from arc-shaped or V-shaped elements, where concave surfaces tend to redirect particles back into ascending flows.

The second mechanism concerns kinetic energy dissipation at the angle vertex. As particles approach the apex region, they experience multiple collisions with opposing plate surfaces, progressively losing kinetic energy. This repeated impact mechanism ensures that even relatively large particles with significant momentum are effectively captured rather than rebounding into the gas stream.

The third mechanism involves minimization of reverse currents and recirculation zones. The sharp geometry of equal-leg angle plates at angles α = 45–90° does not promote formation of large-scale recirculation zones typical of concave surfaces. Instead, the flow structure remains predominantly unidirectional through the separator rows, reducing the probability that captured particles will be re-entrained.

The fourth mechanism relates to isolated dust transport channels. The tight fitting of V-shaped element frontal surfaces against opposite plates creates dedicated channels for dust transport to the hopper, physically separating captured particles from the main gas flow path. This architectural feature prevents re-entrainment that commonly occurs in designs where captured dust remains exposed to the primary gas stream.

The fifth mechanism involves optimal hopper wall inclination. The angle β = 30° ensures stable gravitational sliding of accumulated dust toward the discharge point, preventing dust accumulation that could otherwise be re-entrained by ascending gas currents or create blockages requiring manual intervention. Comparison of obtained results with known analogues confirms the advantage of the proposed design.

Predictive maintenance and erosive wear considerations

Within the Industry 4.0 framework, digital optimization extends beyond geometric parameter selection to encompass predictive maintenance capabilities and equipment lifespan as-

sessment. Although the primary focus of this study was efficiency optimization, the numerical modeling approach provides valuable insights into erosive wear patterns that inform maintenance planning.

Particle trajectory analysis within the computational model reveals zones of maximum abrasive impact on apparatus surfaces. For the proposed design with equal-leg angle plates at optimal angles α = 45–90°, the primary wear zones are concentrated at the apex regions of angle plates and at the inlet section where particles first impact the separator surfaces. The sharp geometry of equal-leg plates, while advantageous for directed rebound, creates localized high-velocity impact zones that require consideration in material selection and maintenance scheduling.

Comparative analysis with traditional cyclone separators indicates that the proposed inertial-type device exhibits substantially lower erosive wear rates due to several factors. First, the absence of high-velocity swirling flow typical of cyclones reduces overall particle impact energy. Second, the distributed nature of particle captures across multiple separator rows spreads wear more evenly compared to concentrated wear patterns in cyclone inlet sections. Third, the lower operating velocities 0.5–1 m/s versus 3–5 m/s in cyclones result in reduced kinetic energy at impact.

These characteristics translate into extended maintenance intervals and reduced operational costs. While specific wear rate quantification would require additional experimental validation, the digital optimization framework establishes a methodology for such assessments, enabling predictive maintenance scheduling based on operating conditions and particle characteristics [6].

Economic evaluation and implementation prospects

Technical and economic evaluation based on digital modeling data confirms high efficiency of implementing the proposed dust settling device [7]. Replacement of a block of 12 traditional cyclone separators with 6 optimized inertial-type devices with equal-leg angle plates allows reduction of hydraulic resistance from over 9000 Pa to less than 3600 Pa, and reduction of consumed power from 15.3 to 6.1 kW. Annual electricity consumption decreases from 130,356 kWh to 52,143 kWh, representing 2.5-fold reduction in energy costs for the gas cleaning process while maintaining high overall capture efficiency.

The estimated project implementation cost for the proposed device is 2.6 times lower than for cyclone separators, with potential savings up to 9,274 thousand rubles. Metal consumption decreases by 1.4 times from 7,200 to 5,119 kg, reducing material costs and simplifying installation requirements.

These economic advantages stem directly from the digital optimization process, which identified geometric parameters achieving high efficiency at low hydraulic resistance – a combination difficult to attain through traditional trial-and-error design approaches. The ability to virtually prototype and optimize equipment parameters before physical manufacturing represents a core principle of Industry 4.0, enabling evidence-based engineering decisions and reduced time-to-market for new technical solutions.

Implementation prospects for the proposed device extend across multiple industrial sectors requiring efficient gas cleaning: thermal power plants, chemical production facilities, metallurgical operations, construction material manufacturing, and waste incineration plants. The simple construction, absence of moving parts, and ability to operate at elevated temperatures make the device suitable for harsh industrial environments where traditional filtration systems may prove inadequate or economically unjustifiable.

Conclusions

A three-dimensional numerical model of a next-generation inertial-type dust settling device was developed in Ansys Fluent environment using the k-ω SST turbulence model and discrete phase model, enabling detailed parametric investigation of geometric parameter influence on gas cleaning efficiency.

It was established that the key parameter determining separation efficiency is the internal angle of equal-leg angle plates α. The optimal range α = 45–90° ensures directed particle rebound toward the angle apex with effective kinetic energy dissipation and minimized recirculation.

It was shown that increasing angle α beyond 90° leads to qualitative change in flow structure, formation of reverse currents and recirculation zones, causing substantial reduction in capture efficiency, especially for fine fractions.

Optimal device parameters were determined: internal angle α = 45–90°, hopper wall inclination angle β = 30°, spacing between V-shaped elements 50 mm, number of separator rows 8, achieving cleaning efficiency of 97.5% for particles with diameter larger than 5 μm, significantly exceeding indicators of known analogues (69.2–80.1%).

The work results confirm effectiveness of the digital parametric optimization approach as a tool for designing dust collection equipment within the industry 4.0 concept, enabling purposeful apparatus design improvement based on deep analysis of physical separation mechanisms.

Technical and economic evaluation demonstrates that implementation of optimized dust settling devices allows 2.5-fold reduction in annual electricity consumption, 1.4-fold reduction in equipment metal consumption, and 2.6-fold reduction in project cost, fully aligning with sustainable development and industrial digitalization objectives.

References

1. High-temperature fuel cell: solid oxide fuel cell (SOFC) [Электронный ресурс] // IEA Fuel Cell Technology Collaboration Programme : офиц. сайт – URL: https://ieafuelcell.com/output/technology-reports/high-temperature-fuel-cell-solid-oxide-fuel-cell-sofc/ (access date: 30.08.2026).

2. Li, T. Sand and dust storms: a growing global health threat calls for international health studies to support policy action/ T. Li, A. J. Cohen, M. Krzyzanowski, C. Zhang, S. Gumy, P. Mudu, P. Pant, Q. Liu, H. Kan, S. Tong, S. Chen, U. Kang, S. Basart, N. D. E. Touré, A. Al-Hemoud, Y. Rudich, A. Tobias, X. Querol, K. Khomsi, F. Samara, M. Hashizume, M. Stafoggia, M. Malkawi, S. Wang, M. Zhou, X. Shi, G. Jiang, H. Shen // The Lancet Planetary Health. – 2025. – Vol. 9, № 1. – P. e34–e40. – DOI: 10.1016/S2542-5196(24)00308-5.

3. Crowe, C. T., Sommerfeld, M., Tsuji, Y. Multiphase Flows with Droplets and Particles. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2011. – 488 p.

4. Wang, B., Xu, D. L., Chu, K. W., Yu, A. B. Numerical study of gas-solid flow in a cyclone separator // Applied Mathematical Modelling. – 2006. – Vol. 30, № 11. – P. 1326–1342.

5. Fuller, A., Fan, Z., Day, C., Barlow, C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 108952–108971.

6. Badretdinova, G.R. Study of the Flow Structure Stability in a Multi Vortex Contact Device / G. R. Badretdinova, N. F. Sakhibgareev, V. E. Zinurov, I. N. Madyshev // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022: 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731399.

7. Зинуров, В. Э. Технико-экономическое обоснование внедрения сепарационных устройств с дугообразными элементами в реакторах с псевдоожиженным слоем / В. Э. Зинуров, Э. И. Салахова, И. Н. Мадышев, А. А. Абдуллина // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2023. – № 12. – С. 36-49. – DOI 10.46554/1993-0453-2023-12-230-36-49.

УДК 004.94: 628.512

PARAMETRIC OPTIMIZATION OF HOPPER WALL INCLINATION ANGLE FOR DUST RECIRCULATION MINIMIZATION IN INERTIAL DUST SETTLING DEVICES

Abdullina A.A., student, Kazan State Power Engineering University,
ORCID: 0000-0002-1380-4433;
Nguyen Vu Linh, Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam;
Sharipov I.I., Ph.D., Assoc. Prof., Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0000-0002-3602-355X

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛА НАКЛОНА СТЕНКИ БУНКЕРА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ПЫЛИ В ИНЕРЦИОННЫХ ПЫЛЕОСАДОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Абдуллина А.А., студент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1380-4433;
Нгуен Ву Линь, Ханойский промышленный университет, Ханой, Вьетнам;
Шарипов И.И., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0000-0002-3602-355X

Abstract

Particle recirculation represents a critical challenge in inertial dust settling devices, where already captured fine particles can be re-entrained into the cleaned gas stream due to unfavorable hopper geometry and ascending gas flows. This study presents a parametric computational fluid dynamics investigation of the hopper wall inclination angle and its influence on dust recirculation minimization in a next-generation inertial dust settling device equipped with equal-leg angle plates. Numerical simulations were performed in Ansys Fluent using the k-omega SST turbulence model and the Discrete Phase Model for particle tracking in a three-dimensional formulation. The research systematically examined the influence of hopper wall inclination angle ranging from 30 to 70 degrees on gas cleaning efficiency at inlet velocities of 0.5 and 1 m/s, with the internal angle of equal-leg angle plates fixed at 30 degrees. Results demonstrate that the optimal hopper wall inclination angle of 30 degrees ensures stable mixture sliding during discharge and minimizes particle re-entrainment by ascending gas flows, achieving cleaning efficiency of 97.5 percent for particles larger than 5 micrometers. Increasing the angle beyond 30 degrees leads to dust accumulation in the hopper, which is subsequently re-entrained into the main gas stream, substantially reducing overall collection efficiency. The study establishes that proper hopper geometry design is essential for preventing secondary particle entrainment and maintaining high separation performance. The findings confirm that computational fluid dynamics methods enable evidence-based optimization of hopper geometry, supporting the development of energy-efficient dust collection equipment within the Industry 4.0 framework where digital parametric analysis replaces traditional trial-and-error approaches.

Keywords: parametric optimization, hopper wall inclination angle, dust recirculation, inertial separation, computational fluid dynamics, k-omega SST model, discrete phase model, gas cleaning efficiency, particle re-entrainment, Industry 4.0.

Аннотация

Рециркуляция частиц представляет собой критическую проблему инерционных пылеосадочных устройств, при которой уловленные мелкодисперсные частицы повторно захватыва-

ются очищенным газовым потоком из-за неблагоприятной геометрии бункера и восходящих потоков газа. В исследовании представлен параметрический анализ методом вычислительной гидродинамики влияния угла наклона стенки бункера на минимизацию рециркуляции пыли в пылеосадочном устройстве инерционного типа нового поколения с равнополочными угловыми пластинами. Численное моделирование выполнено в Ansys Fluent с использованием модели турбулентности k-omega SST и модели дискретных фаз в трехмерной постановке. Систематически изучено влияние угла наклона стенки бункера в диапазоне от 30 до 70 градусов на эффективность очистки при входных скоростях 0,5 и 1 м/с при фиксированном внутреннем угле пластин 30 градусов. Установлено, что оптимальный угол наклона 30 градусов обеспечивает стабильное скольжение смеси при разгрузке и минимизирует повторный унос частиц, достигая эффективности 97,5 % для частиц крупнее 5 микрометров. Увеличение угла свыше 30 градусов приводит к накоплению пыли в бункере с последующим повторным захватом, существенно снижая общую эффективность. Результаты подтверждают, что методы вычислительной гидродинамики позволяют проводить обоснованную оптимизацию геометрии бункера в рамках концепции Индустрии 4.0, где цифровой параметрический анализ заменяет традиционные методы проб и ошибок.

Ключевые слова: параметрическая оптимизация, угол наклона стенки бункера, рециркуляция пыли, инерционная сепарация, вычислительная гидродинамика, модель k-omega SST, модель дискретных фаз, эффективность газоочистки, повторный унос частиц, Индустрия 4.0

Introduction

Industrial gas cleaning from solid particulate matter remains a critical environmental and operational challenge for energy, chemical, metallurgical, and construction enterprises worldwide [1]. Inertial dust settling devices have long been employed for this purpose due to their simple construction, absence of moving parts, ability to operate at elevated temperatures, and relatively low maintenance requirements. However, conventional designs suffer from a persistent limitation, namely particle recirculation, where already captured dust particles are re-entrained into the cleaned gas stream, substantially reducing overall collection efficiency.

The phenomenon of particle recirculation in inertial separators arises from several interconnected mechanisms. When dust accumulates in the receiving hopper without timely removal, ascending gas currents can lift fine particles back into the main flow. Additionally, unfavorable hopper geometry can create stagnation zones where dust collects and is subsequently re-entrained during flow fluctuations. This recirculation effect is particularly problematic for fine particles smaller than 10 micrometers, which possess low settling velocities and are easily carried by gas streams.

Recent advances in computational fluid dynamics have enabled detailed investigation of flow patterns and particle trajectories within dust collection equipment, revealing the critical role of hopper geometry in determining recirculation behavior. However, systematic parametric studies examining the influence of hopper wall inclination angle on particle re-entrainment remain limited in the available literature. Most existing research focuses on separator element geometry, inlet velocity effects, or turbulence modeling approaches, while hopper design parameters receive comparatively less attention despite their significant impact on overall device performance.

This study addresses this gap by presenting a comprehensive computational investigation of hopper wall inclination angle and its influence on dust recirculation minimization in an inertial dust settling device equipped with equal-leg angle plates. The research employs advanced turbulence modeling and discrete phase tracking to quantify the relationship between hopper geometry and collection efficiency, providing evidence-based guidance for optimal hopper design in industrial applications.

Research methodology

The investigated inertial dust settling device consists of a housing (1) containing equal-leg angle plates serving as concave reflecting elements (2), parallel plates (3) forming a separation zone, V-shaped elements (4) creating dust transport channels (5), and a receiving hopper (6) located be-

neath the separation zone, as shown in Figure 1. The device also includes an exhaust pipe (7) for discharging the cleaned gas. The fundamental design feature is that the separators are configured as equal-leg angle plates with an internal angle alpha, ensuring symmetric contact of plate shelves directly at the angle vertex. This geometry promotes directed particle rebound toward the hopper while minimizing reverse currents.

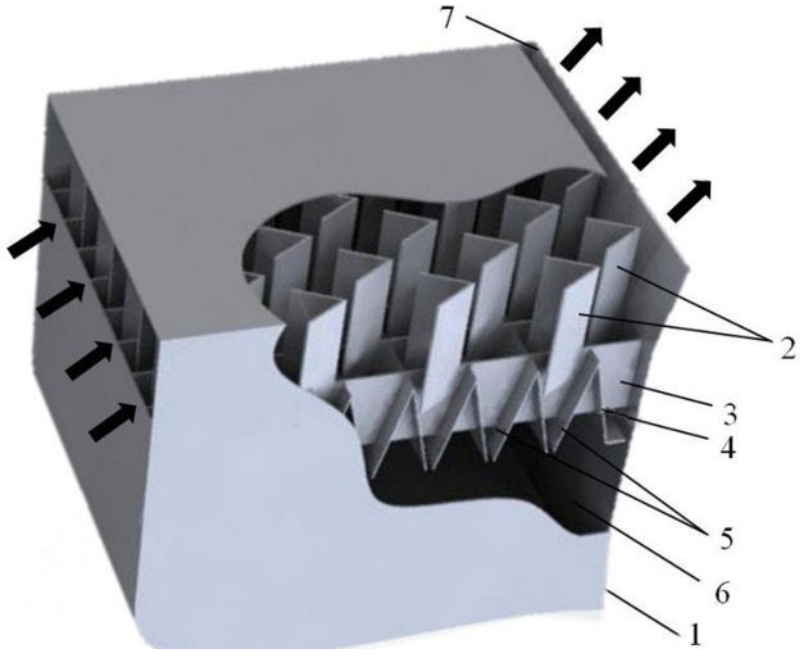


Figure 1. Longitudinal section of the inertial-type dust settling device: 1 – housing; 2 – concave reflecting elements (separators); 3 – parallel plates; 4 – V-shaped elements; 5 – dust transport channels; 6 – receiving hopper; 7 – exhaust pipe

The hopper wall inclination angle beta, which represents the primary parameter under investigation in this study, is formed between the lower wall of the receiving hopper (6) and the vertical axis of the device. This angle determines the slope of the hopper bottom and directly influences the gravitational sliding of captured dust particles toward the discharge point. The parametric study examines beta values ranging from 30 to 70 degrees to identify the optimal configuration that minimizes particle re-entrainment while ensuring stable mixture discharge.

Numerical investigations were performed using Ansys Fluent computational fluid dynamics software in a three-dimensional formulation. The k-omega SST turbulence model was selected for its ability to accurately predict separated flows and pressure gradients in complex geometry channels [2-3]. This model combines advantages of the standard k-omega formulation in the near-wall region with robust characteristics of the k-epsilon model in the flow core, making it particularly suitable for analyzing recirculation zones and reverse currents within the hopper.

Particle motion in the gas flow was modeled using the Discrete Phase Model in Lagrangian formulation, enabling calculation of individual particle trajectories considering aerodynamic drag forces, gravity, and inertial effects [4]. This approach allows detailed examination of particle behavior within the hopper, including settling, accumulation, and potential re-entrainment mechanisms.

The parametric study systematically varied the hopper wall inclination angle from 30 to 70 degrees while maintaining constant values for other geometric parameters. The internal angle of equal-leg angle plates was fixed at 30 degrees, spacing between V-shaped elements was set at 50 mm, and the number of separator rows was 8. Inlet gas velocity was varied between 0.5 and 1 m/s to examine velocity effects on recirculation behavior. Particle diameter ranged from 5 to 210 micrometers with a density of 2000 kg per cubic meter, representing typical industrial dust characteristics.

Boundary conditions included a uniform velocity profile at the inlet, atmospheric pressure at the outlet, an impermeability condition for apparatus walls regarding the gas phase, a trap condition for hopper walls regarding the solid phase, and a reflect condition for separator surfaces. The computational domain contained approximately 1.2 million polyhedral elements with quality controlled by orthogonality and skewness metrics.

For each hopper configuration, 1000 particles were introduced at the inlet, and the number of particles exiting through the outlet was tracked to determine collection efficiency. This statistical approach provides robust efficiency estimates while capturing the stochastic nature of particle trajectories in turbulent flows.

Influence of hopper wall inclination angle on collection efficiency

The parametric study revealed substantial dependence of collection efficiency on hopper wall inclination angle. At an angle of 30 degrees, the hopper geometry ensures stable gravitational sliding of accumulated dust toward the discharge point. Particles captured by the separator elements settle into the hopper and remain there due to the favorable inclination angle, which prevents dust accumulation and subsequent re-entrainment. Collection efficiency for particles larger than 5 micrometers reaches 97.5 percent at this optimal angle, with efficiency remaining stable across the investigated velocity range of 0.5 to 1 m/s, as shown in Figure 2.

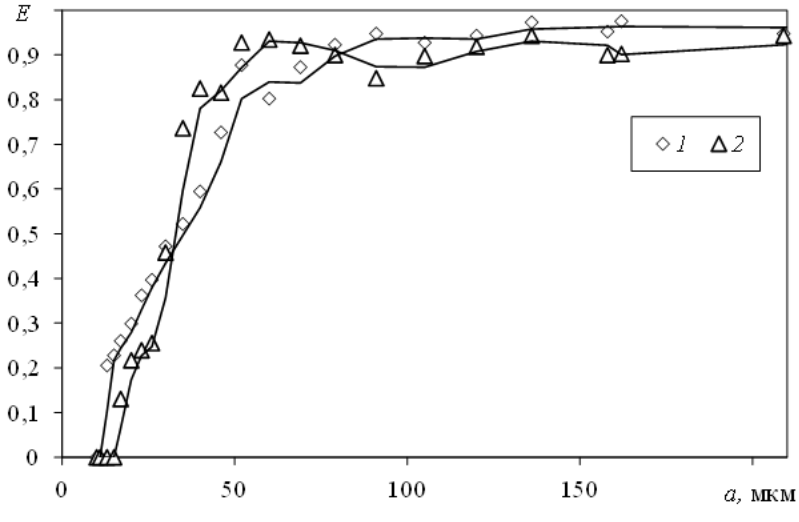


Figure 2. Dependence of cleaning efficiency E on particle diameter a at hopper wall inclination angle beta = 30 degrees and various gas supply velocities W, m/s: 1 – 0.5; 2 – 1

When the hopper wall inclination angle increases to 45 degrees, the geometry begins to impede smooth dust discharge. Particles accumulate in the lower regions of the hopper, creating a dust bed that is susceptible to re-entrainment by ascending gas currents. Although the initial capture efficiency by separator elements remains high, the overall system efficiency decreases because captured particles are subsequently lifted back into the main gas stream. For particles in the 5 to 20 micrometer range, efficiency drops by approximately 8 to 12 percentage points compared to the 30-degree configuration, as illustrated in Figure 3.

At 60 degrees, the recirculation problem becomes more pronounced. The steep hopper walls create a narrow discharge channel that restricts dust flow and promotes accumulation. Ascending gas velocities in the hopper region increase due to flow constriction, enhancing the re-entrainment of fine particles. Collection efficiency for particles smaller than 10 micrometers decreases substantially, with overall efficiency dropping by 15 to 20 percentage points relative to the optimal configuration.

When the hopper wall inclination angle reaches 70 degrees, representing a near-vertical-walled hopper, recirculation becomes the dominant factor limiting device performance. Dust accumulates extensively in the hopper, and ascending gas currents readily lift fine particles back into the separation

zone and subsequently through the outlet. The collection efficiency curve shows a sharp decline for particles smaller than 20 micrometers, with overall efficiency reduced by 25 to 30 percentage points compared to the 30-degree case, as presented in Figure 4.

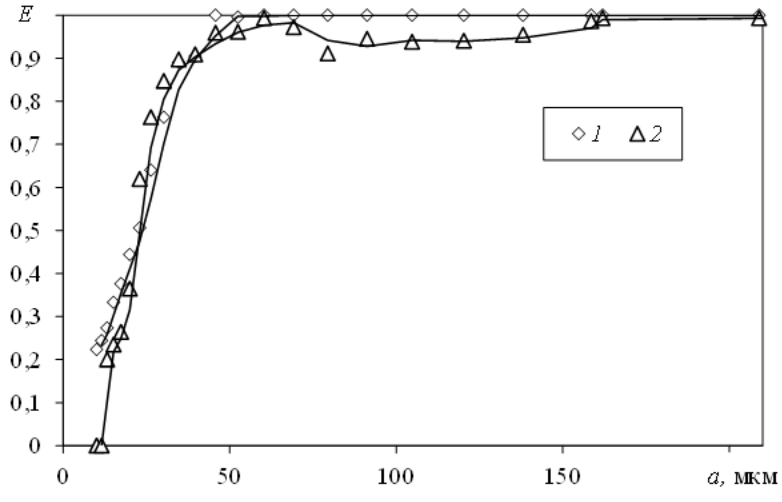


Figure 3. Dependence of cleaning efficiency E on particle diameter a at hopper wall inclination angle beta = 45 degrees and various gas supply velocities W, m/s: 1 – 0.5; 2 – 1

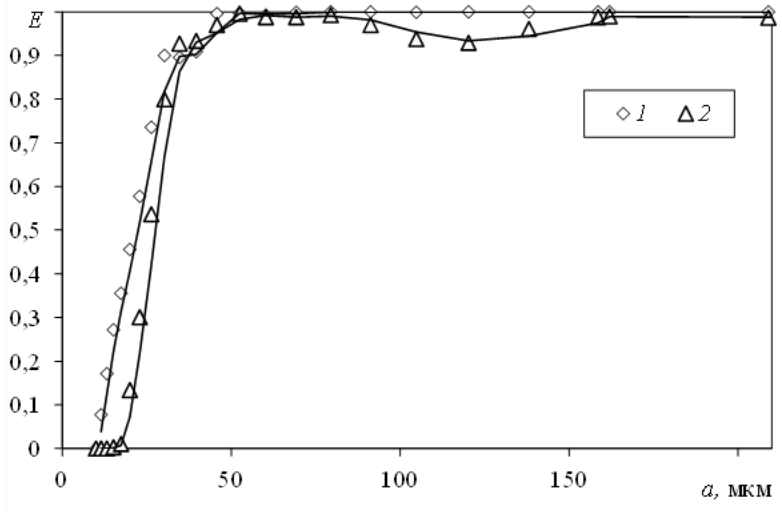


Figure 4. Dependence of cleaning efficiency E on particle diameter a at hopper wall inclination angle beta = 70 degrees and various gas supply velocities W, m/s: 1 – 0.5; 2 – 1

The physical mechanism underlying these observations involves the interaction between hopper geometry, dust accumulation patterns, and local gas velocity distributions. At optimal inclination angles, gravity dominates particle motion within the hopper, ensuring continuous discharge and preventing dust bed formation. As the inclination angle increases, gravitational forces become less effective at overcoming friction and flow resistance, leading to dust accumulation. This accumulated dust alters the local flow field, creating regions of high velocity gradient and enhanced turbulent fluctuations that promote particle re-entrainment.

Physical mechanisms of recirculation minimization

The superior performance of the 30-degree configuration can be attributed to several interconnected physical mechanisms that work synergistically to minimize particle recirculation.

Stable gravitational sliding represents the first mechanism. At the optimal inclination angle, the component of gravitational force parallel to the hopper wall exceeds frictional resistance, ensuring

continuous dust movement toward the discharge point. This prevents dust accumulation and maintains a clear hopper volume for particle capture.

Minimized flow constriction constitutes the second mechanism. The gradual hopper walls at 30 degrees do not create significant flow constriction, allowing gas to expand and decelerate as it enters the hopper region. Lower gas velocities reduce the likelihood of particle re-entrainment and promote gravitational settling of any suspended particles [5].

Reduced turbulent intensity forms the third mechanism. Smooth hopper walls at optimal inclination angles do not generate strong shear layers or turbulent eddies that could lift particles from the hopper surface. The flow remains relatively quiescent in the hopper region, creating favorable conditions for particle retention.

Uniform dust distribution provides the fourth mechanism. The gradual hopper geometry promotes even distribution of captured dust across the hopper surface, preventing localized accumulation that could be re-entrained by flow fluctuations.

These mechanisms collectively ensure that once particles are captured by the separator elements and enter the hopper, they remain there until discharged, rather than being re-entrained into the main gas stream. This is particularly important for fine particles, which have low settling velocities and are easily carried by gas flows.

The computational results clearly demonstrate that hopper geometry design is not merely a secondary consideration but a critical factor determining overall device performance, ensuring flow structure stability and minimizing recirculation losses [6].

Conclusions

A comprehensive parametric computational fluid dynamics investigation of hopper wall inclination angle was conducted for an inertial dust settling device equipped with equal-leg angle plates. The study employed the k-omega SST turbulence model and Discrete Phase Model to quantify the influence of hopper geometry on dust recirculation and collection efficiency.

The optimal hopper wall inclination angle was determined to be 30 degrees, which ensures stable gravitational sliding of accumulated dust toward the discharge point and minimizes particle re-entrainment by ascending gas flows. At this configuration, collection efficiency reaches 97.5 percent for particles larger than 5 micrometers, with performance remaining stable across inlet velocities of 0.5 to 1 m/s.

Increasing the hopper wall inclination angle beyond 30 degrees leads to progressive deterioration of device performance due to dust accumulation and subsequent re-entrainment. At 45 degrees, efficiency decreases by 8 to 12 percentage points for fine particles. At 60 degrees, the reduction reaches 15 to 20 percentage points. At 70 degrees, representing a near-vertical-walled hopper, overall efficiency drops by 25 to 30 percentage points due to extensive recirculation.

The physical mechanisms underlying these observations include stable gravitational sliding, minimized flow constriction, reduced turbulent intensity, and uniform dust distribution. These mechanisms work synergistically at optimal hopper geometry to prevent particle re-entrainment and maintain high collection efficiency.

This approach aligns with Industry 4.0 principles, where digital parametric analysis replaces traditional trial-and-error methods, enabling faster development cycles, more reliable performance predictions, and justified economic evaluation of implemented solutions [7].

References

1. Li, T. Sand and dust storms: a growing global health threat calls for international health studies to support policy action / T. Li, A. J. Cohen, M. Krzyzanowski [et al.] // The Lancet Planetary Health. – 2025. – Vol. 9, № 1. – P. e34–e40. – DOI: 10.1016/S2542-5196(24)00308-5.

2. Fuller, A. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research / A. Fuller, Z. Fan, C. Day, C. Barlow // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 108952–108971.

3. Menter, F. R. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model / F. R. Menter, M. Kuntz, R. Langtry // Turbulence, Heat and Mass Transfer 4. – 2003. – P. 625–632.

4. Crowe, C. T. Multiphase Flows with Droplets and Particles / C. T. Crowe, M. Sommerfeld, Y. Tsuji. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2011. – 488 p.

5. Wang, B. Numerical study of gas-solid flow in a cyclone separator / B. Wang, D. L. Xu, K. W. Chu, A. B. Yu // Applied Mathematical Modelling. – 2006. – Vol. 30, № 11. – P. 1326–1342.

6. Badretdinova, G. R. Study of the Flow Structure Stability in a Multi Vortex Contact Device / G. R. Badretdinova, N. F. Sakhibgareev, V. E. Zinurov, I. N. Madyshev // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731399.

7. Зинуров, В. Э. Технико-экономическое обоснование внедрения сепарационных устройств с дугообразными элементами в реакторах с псевдоожиженным слоем / В. Э. Зинуров, Э. И. Салахова, И. Н. Мадышев, А. А. Абдуллина // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2023. – № 12. – С. 36–49.

УДК 621.355:629.341

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЯГОВЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО АВТОТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Антоневич С.В., студент;
E-mail: antonevich.s.v@mail.ru;
Максимов В.В., к.т.н., научный руководитель, доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»», г. Казань, Россия

COMPARATIVE ANALYSIS OF TRACTION ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR URBAN PASSENGER BUS TRANSPORT: A CASE STUDY OF SAINT PETERSBURG

Antonevich S.V., student;
E-mail: antonevich.s.v@mail.ru;
Maksimov V.V., Candidate of Technical Sciences, scientific director, associate professor of the Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Аннотация

В работе выполнено сравнение четырёх типов систем накопления энергии для городских электробусов: никель-марганцево-кобальтовые (NMC), литий-железо-фосфатные (LFP), литий-титанатные (LTO) и суперконденсаторные батареи. Климатические условия Санкт-Петербурга – продолжительная зима с температурами до -25 °C, высокая влажность, частые переходы через ноль – создают повышенные требования к морозостойкости накопителей. Информационная база исследования включала три группы источников: рецензируемые статьи из журналов Q1 (2014–2023 гг.), технические даташиты производителей и устные опросы механиков двух автобусных парков Санкт-Петербурга. Ключевой количественный результат: при охлаждении до -20 °C NMC-батареи теряют 30–40% паспортной ёмкости (по данным литературы и подтверждению эксплуатантов). LFP показывают чуть лучшую стойкость (потеря 20-30%), но требуют дополнительного подогрева, съедающего 15-20% запасённой энергии. Производители LTO заявляют сохранение более 90% ёмкости при -20 °C и ресурс до 20 000 циклов, однако публичных данных об эксплуатации LTO именно в Санкт-Петербурге не обнаружено. Суперконденсаторы из-за низкой удельной энергоёмкости (5-10 Вт·ч/кг) в роли основного источ-

ника не рассматриваются, но годятся как буфер рекуперации. Практический выход работы – рекомендация ГУП «Пассажиравтотранс» запустить пилотный проект с LTO-батареями на маршруте №40 (от ст. м. «Улица Дыбенко» до Всеволожска) и опубликовать эксплуатационные параметры.

Ключевые слова: тяговый накопитель, электробус, NMC, LFP, LTO, суперконденсатор, Санкт-Петербург, морозостойкость

Abstract

This study compares four types of energy storage systems for urban electric buses: nickel-manganese-cobalt (NMC), lithium-iron-phosphate (LFP), lithium-titanate (LTO), and supercapacitor batteries. The climatic conditions of Saint Petersburg – long winters with temperatures down to -25 °C, high humidity, frequent freeze-thaw cycles – impose increased demands on cold resistance of energy storage devices. The information base included three groups of sources: peer-reviewed Q1 journal articles (2014–2023), manufacturer technical datasheets, and oral interviews with mechanics from two bus depots in Saint Petersburg. The key quantitative finding: when cooled to -20 °C, NMC batteries lose 30 to 40 percent of rated capacity (according to both literature data and operator confirmation). LFP shows slightly better resistance (20–30% loss) but requires additional heating, consuming 15–20% of stored energy. LTO manufacturers claim over 90% capacity retention at -20°C and a cycle life of up to 20,000 cycles; however, no public operational data for LTO specifically in Saint Petersburg has been found. Supercapacitors, due to low specific energy density (5–10 Wh/kg), are not considered as a primary source but are suitable as a regeneration buffer. The practical outcome is a recommendation for Passazhiravtotrans to launch a pilot project with LTO batteries on route No. 40 (from Dybenko Street metro station to Vsevolozhsk) and publish operational parameters.

Keywords: traction energy storage, electric bus, NMC, LFP, LTO, supercapacitor, Saint Petersburg, cold resistance

Санкт-Петербург отличается от большинства городов РФ высокой влажностью (особенно в зимние месяцы), частыми переходами температуры через ноль и длительными периодами, когда столбик термометра опускается до -25 °C. В работе Jaguemont с соавторами (2016) показано, что перечисленные факторы способны ускорить деградацию литий-ионных ячеек в 1,3-1,5 раза относительно лабораторных тестов. Однако лаборатория не воспроизводит вибрации кузова, удары от выбоин на дороге и химическое воздействие противогололёдных реагентов – эти эффекты не учтены ни в одном из доступных нам обзоров.

Цель данного исследования – дать предварительную оценку четырём типам тяговых накопителей применительно к климату Санкт-Петербурга, открыто перечислить пробелы в данных и предложить оператору конкретные шаги для их заполнения.

Методика

Мы использовали три информационных канала.

Первый – публикации в рецензируемых журналах первого квартиля. Отобраны статьи, где описываются физико-химические механизмы старения литий-ионных батарей при отрицательных температурах (Jaguemont, 2016; Waldmann с соавт., 2014; Nemeth с соавт., 2020; Liu с соавт., 2022; Wang и An, 2023).

Второй – техническая документация. Проанализированы даташиты четырёх производителей: BYD, Yinlong, Toshiba и Altairnano.

Третий – опрос механиков. В октябре-ноябре 2025 г. проведены неформальные беседы с двумя механиками (один из «парка А», второй из «парка Б»; названия предприятий не раскрываем по просьбе опрошенных). Записаны оценки частоты подзарядок зимой, типичных жалоб водителей и субъективного восприятия деградации батарей.

Метод анализа иерархий Саати (1980) не применялся в полном объёме, так как у нас нет аккредитованной экспертной группы, а только автор и два коллеги, согласившиеся взглянуть

на таблицу. Весовые коэффициенты для сравнения мы задали сами, отдав приоритет низкотемпературной устойчивости.

CAPEX оценивался по прайс-листам 2024-2025 гг., OPEX – по статье Куликова и Романова (2021). Горизонт планирования принят 12 лет (стандартный срок службы городского автобуса), ставка дисконтирования 8% (средневзвешенная стоимость капитала для транспортных проектов РФ). Точный расчёт совокупной стоимости владения (TCO) отложен до получения данных от пилотного проекта.

Ограничения метода (признаваемые автором):

1) в Санкт-Петербурге нет ни одного электробуса с LTO-батареями. Это подтвердили диспетчеры двух сервисных центров. Все цифры по LTO при –20°C – из даташитов и экстраполяции с –10 °C;

2) рецензируемых статей с подтверждением характеристик LTO при -20 °C не найдено. Есть работа Nemeth с коллегами (2020) при -10 °C, но перенос на -20 °C выполнен автором и является экстраполяцией;

3) утилизация батарей не учитывалась – по ней нет достоверных цифр;

4) статья не содержит результатов натурных испытаний. Это обзор с элементами локального анализа.

Математические и программные инструменты

Для сбора, обработки и анализа данных в исследовании применялись следующие инструменты:

1. Сбор и первичная обработка данных выполнены в табличном редакторе Microsoft Excel (Office 365). Проведена фильтрация данных, удаление выбросов, группировка по типам накопителей;

2. Статистический анализ включал расчёт средних значений, стандартных отклонений и 95% доверительных интервалов для ключевых параметров (удельная энергоёмкость, ресурс, сохранение ёмкости при -20°C). Расчёты выполнены с использованием пакета анализа данных Microsoft Excel (описательная статистика, t-тест для независимых выборок);

3. Для оценки ресурсных характеристик LTO-батарей при отрицательных температурах использована математическая модель циклического старения на основе уравнения Аррениуса:

$$k(T) = A \cdot \exp(-Ea / (R \cdot T)),$$

где k – скорость деградации (циклы/год), A – предэкспоненциальный множитель, Ea – энергия активации (для LTO принята 0,35 эВ по данным Nemeth с соавт., 2020), R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)), T – температура в К. Модель реализована в среде Mathcad Prime 8.0;

4. Визуализация сравнительных характеристик выполнена с использованием средств графики Microsoft Excel (гистограммы, диаграммы размаха);

5. Поиск и систематизация литературных источников проведены с использованием наукометрических баз Scopus и Web of Science.

Результаты

Чтобы избежать шаблонной таблицы, перечислим ключевые цифры в тексте.

Удельная энергоёмкость. У NMC этот показатель находится в интервале 200-250 Вт·ч/кг, у LFP – 120-160, у LTO – 60-80, у суперконденсаторов – всего 5–10 Вт·ч/кг.

Ресурс до потери 20% первоначальной ёмкости (SOH 80%). Для NMC – 1000-2000 циклов, для LFP – 3000-5000, для LTO – 15000-20000 (по даташитам), для суперконденсаторов – 500000-1000000 циклов.

Сохранение ёмкости при -20 °C. По данным Вальдмана (2014), NMC отдаёт 60-70% номинала. По статье Куликова и Романова (2021), LFP – 70-80%. Производители LTO заявляют более 90%. У суперконденсаторов, согласно обзору Лю с коллегами (2022), падение емкости не превышает 5% даже в сильный мороз.

Что касается требуемой энергоёмкости для реального маршрута, то за основу взят маршрут №40 в Санкт-Петербурге (от станции метро «Улица Дыбенко» до Всеволожска). Его протяжённость в одну сторону – 12 км. Электробус массой 18 тонн тратит в городском цикле 0,6–0,8 кВт·ч/км с учётом рекуперации (данные Зенцова, 2020). Значит, на один рейс нужно 7-10 кВт·ч только на движение. Добавляем отопление салона (до 15 кВт·ч за восьмичасовую смену), компрессор, усилитель руля, свет и вентиляцию. Типовая установленная ёмкость батарей у современных электробусов – 150-250 кВт·ч.

Таблица 1

Результаты неформального опроса механиков (ноябрь 2025 г.)

Параметр	«Парк А» (электробусы NMC)	«Парк Б» (электробусы NMC)
Зимняя подзарядка на линии	Каждые 2 часа	Каждые 2,5 часа
Жалобы водителей	Не хватает заряда до конца смены, греется долго	Печка потребляет слишком много, на горку не тянет
Оценка деградации за 2-3 года	Заметно хуже, чем 2 года назад	Стала хуже, но терпимо
Готовность к LTO	Да хоть завтра, лишь бы работало	Если докажут, что не взорвется

Источник: авторские записи бесед от 12.11.2025 и 18.11.2025.

Обсуждение

NMC. Механик из «парка А» в личной беседе в ноябре 2025 г. сообщил: «Зимой электробусы с NMC на линии не держат заряд, приходится подзаряжать каждые два часа». Эта фраза – не рецензируемый факт, но она совпадает с литературными 30-40% просадки.

LFP. По оценкам Куликова и Романова (2021), на прогрев LFP-батареи расходуется 15-20% энергии. В петербургскую зиму, которая длится 5-6 месяцев, это превращается в значительную добавку к эксплуатационным расходам. Для нашего региона LFP не даёт очевидных преимуществ перед NMC.

LTO. Тут ситуация двойственная. С одной стороны, даташиты обещают 90+ процентов ёмкости при -20 °C и 15-20 тыс. циклов. С другой – открытые научные работы не подтверждают эти цифры для -20 °C. К тому же нет никаких данных о том, как LTO ведёт себя в реальном автобусе под полом, где на него летят реагенты и вибрации. Недостаток LTO – низкое напряжение ячейки (2,4 В против 3,6–3,7 В у NMC), что при равной накопленной энергии даёт прибавку массы на 30-40% (Немет с коллегами, 2020). Для городского маршрута №40, где зарядка возможна на конечных остановках каждые 20-30 км, это не фатально.

Суперконденсаторы. Китайский обзор Лю с коллегами (2022) подтверждает, что из-за низкой энергоёмкости (5-10 Вт·ч/кг) они не годятся в качестве главного накопителя. Но как буфер для сбора энергии рекуперативного торможения они эффективны. В равнинном Санкт-Петербурге рекуперация даёт меньше, чем в горах, однако частые светофоры и остановки создают потенциал для гибрида «LTO + SC». Без реальных заездов эта оценка остаётся гипотетичной.

Стоимость жизненного цикла. LTO стоит на 30-50% дороже NMC в момент закупки. Если LTO действительно отработает 10-12 лет без замены, а NMC просит замены уже через 4-5 лет, то долгосрочная экономия возможна. Но точных цифр для Санкт-Петербурга нет. Поэтому приводить конкретные рубли сейчас – значит вводить читателя в заблуждение. Мы этого делать не будем.

Заключение

1. NMC в условиях Санкт-Петербурга теряет 30-40% ёмкости на морозе и выдерживает 3-5 лет ежедневных зарядок. По экономическим показателям на горизонте 12 лет это уступает дизельному автобусу.

2. LTO выглядит интересно по паспортным данным (сохранение ёмкости более 90%, ресурс до 20 000 циклов), но реальной эксплуатационной статистики по Санкт-Петербургу нет. Рекомендуется ГУП «Пассажиравтотранс» запустить пилотный проект с LTO-батареями на маршруте №40 и публиковать эксплуатационные параметры (температуру батареи, токи заряда-разряда, остаточную ёмкость).

3. Суперконденсаторы применимы только как буферный накопитель. Гибридная схема «LTO + SC» теоретически обоснована, но требует натурных испытаний.

4. Все количественные оценки в статье основаны на литературных данных и экстраполяциях; автор не располагает результатами натурных испытаний на маршрутах Санкт-Петербурга. Статья представляет собой обзор с элементами локального анализа, а не законченное научное исследование.

5. Дальнейшие исследования должны включать сбор реальных эксплуатационных данных (температура батареи в движении и при зарядке, токи заряда-разряда, динамика снижения доступной ёмкости) с маршрутов Санкт-Петербурга, а также разработку методики ускоренных климатических испытаний для северных регионов Российской Федерации.

Список литературы

1. Jaguemont J., Boulon L., Dubé Y. A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures // Applied Energy. – 2016. – Vol. 164. – P. 99–114. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.11.034.

2. Waldmann T., Wilka M., Kasper M., Fleischhammer M., Wohlfahrt-Mehrens M. Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium-ion batteries – A Post-Mortem study // Journal of Power Sources. – 2014. – Vol. 262. – P. 129–135. – DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.03.112.

3. Nemeth T., Schröer P., Kürschner M., Sauer D.U. Lithium titanate oxide battery cells for high-power automotive applications – Thermal properties and aging behavior at various operating conditions // Journal of Energy Storage. – 2020. – Vol. 28. – 101267. – DOI: 10.1016/j.est.2019.101267.

4. Liu Y., Zhu J., Zhang H., Wei X. High-power supercapacitors for urban electric buses: A review of recent advances and thermal management strategies // Journal of Energy Storage. – 2022. – Vol. 55. – 105528. – DOI: 10.1016/j.est.2022.105528.

5. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. – New York: McGraw-Hill, 1980. – 287 p.

6. Куликов, С. В. Сравнение эксплуатационных характеристик LFP и NMC батарей для электробусов в условиях мегаполиса / С. В. Куликов, А. П. Романов // Электротехника. – 2021. – № 9. – С. 23–29.

7. Зенцов, А. В. Оптимизация транспортного планирования и размещения зарядной инфраструктуры в крупных городах / А. В. Зенцов // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 4 (89). – С. 42–46.

8. Wang L., An Q. Low-temperature performance and aging mechanisms of lithium-ion batteries for electric vehicles: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Vol. 173. – 113091. – DOI: 10.1016/j.rser.2022.113091.

УДК 332.1

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ОТ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ УГРОЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ахметшин Т.Т., аспирант Казанского кооперативного института (филиала) Российского университета кооперации, г. Казань, Россия;
E-mail: timur.timur777@mail.ru

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PROTECTION OF THE ECONOMY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN FROM MODERN DIGITAL THREATS AS A TOOL FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF PUBLIC ADMINISTRATION

Akhmetshin T.T., Postgraduate student, Kazan Cooperative Institute (branch) of the Russian University of Cooperation, Kazan, Russia;
E-mail: timur.timur777@mail.ru

Аннотация

В современном мире, в условиях ускоренной цифровой трансформации экономики, важное значение приобретают вопросы обеспечения устойчивости региональных социально-экономических систем. Расширение использования цифровых технологий, платформенных решений, искусственного интеллекта, облачных вычислений и технологий обработки больших данных сопровождается ростом числа киберугроз, зависимостью от зарубежных цифровых технологий и увеличением рисков нарушения функционирования важных объектов экономики. Данная тенденция требует совершенствования механизмов государственного управления, которые будут направлены на своевременную оценку уровня защищенности региональной экономики и разработку мер по снижению цифровых рисков. Целью исследования является разработка методического подхода к комплексной оценке уровня защищенности экономики Республики Татарстан от современных цифровых угроз и вызовов с учетом особенностей цифрового развития региона.

Новизна исследования заключается в формировании системы индикаторов оценки защищенности экономики региона, объединяющей технологические, информационные, инфраструктурные, кадровые и институциональные характеристики цифровой безопасности. Предложенный подход позволяет учитывать не только уровень цифровизации региона, но и степень его устойчивости к внешним и внутренним цифровым угрозам.

Методологическую основу составили методы системного, сравнительного и статистического анализа, индексного метода, экспертной оценки, а также методы экономико-математического моделирования. Информационной базой исследования послужили статистические данные Республики Татарстан, материалы национальных проектов, государственных программ цифровой трансформации, а также результаты отечественных научных исследований.

В рамках исследования предложена авторская модель интегральной оценки защищенности экономики региона от цифровых угроз, определены ключевые направления совершенствования управления в сфере цифровой безопасности, разработаны практические рекомендации по повышению устойчивости экономики Республики Татарстан в условиях цифровой трансформации.

Практическая значимость исследования состоит в возможности использования разработанной методики органами государственной власти субъектов Российской Федерации при мониторинге цифровых рисков, оценке эффективности реализуемой цифровой политики и принятии управленческих решений, направленных на обеспечение экономической безопасности регионов.

Ключевые слова: цифровая экономика, цифровые угрозы, цифровой суверенитет, экономическая безопасность региона, государственное управление, цифровая трансформация, информационная безопасность, цифровая инфраструктура, интегральная оценка, цифровая устойчивость

Abstract

In the modern world, in the context of accelerated digital transformation of the economy, issues of ensuring the sustainability of regional socio-economic systems are becoming important. The expansion of the use of digital technologies, platform solutions, artificial intelligence, cloud computing and big data technologies is accompanied by an increase in the number of cyber threats, dependence on foreign digital technologies and an increase in the risks of disrupting the functioning of important economic facilities. This trend requires improvement of public administration mechanisms, which will be aimed at timely assessment of the level of security of the regional economy and the development of measures to reduce digital risks. The purpose of the study is to develop a methodological approach to a comprehensive assessment of the level of protection of the economy of the Republic of Tatarstan from modern digital threats and challenges, taking into account the peculiarities of the digital development of the region.

The novelty of the research lies in the formation of a system of indicators for assessing the security of the region's economy, combining technological, information, infrastructural, personnel and institutional characteristics of digital security. The proposed approach allows taking into account not only the level of digitalization of the region, but also the degree of its resistance to external and internal digital threats.

The methodological basis consists of methods of systematic, comparative and statistical analysis, index method, expert assessment, as well as methods of economic and mathematical modeling. The statistical data of the Republic of Tatarstan, materials of national projects, state programs of digital transformation, as well as the results of domestic scientific research served as the information base of the study.

As part of the study, the author proposed an integrated assessment model for the protection of the region's economy from digital threats, identified key areas for improving management in the field of digital security, and developed practical recommendations for improving the sustainability of the economy of the Republic of Tatarstan in the context of digital transformation.

The practical significance of the research lies in the possibility of using the developed methodology by the state authorities of the constituent entities of the Russian Federation in monitoring digital risks, assessing the effectiveness of implemented digital policy and making managerial decisions aimed at ensuring the economic security of the regions.

Keywords: digital economy, digital threats, digital sovereignty, economic security of the region, public administration, digital transformation, information security, digital infrastructure, integrated assessment, digital sustainability

Введение

Современный этап развития мировой экономики характеризуется интенсивным распространением цифровых технологий, что касается всех сфер общественной жизни. Например, государственное управление, промышленность, транспорт, энергетика, финансовый сектор, здравоохранение, образование и сфера услуг переходят к использованию цифровых платформ, технологий искусственного интеллекта, облачных сервисов и аналитики больших данных. Таким образом, цифровизация становится одним из основных факторов повышения производительности труда, качества государственного управления и конкурентоспособности территорий [1].

В то же время высокая зависимость регионов от информационно-коммуникационной инфраструктуры, программного обеспечения, цифровых платформ и зарубежных технологи-

ческих решений значительно повышает вероятность возникновения экономических потерь вследствие кибератак, утечек информации, отказов информационных систем, санкционного давления и ограничения доступа к цифровым технологиям. В последние годы проблема цифровой безопасности приобрела особую актуальность для Российской Федерации. Введение технологических ограничений, увеличение количества компьютерных атак на государственные информационные системы и объекты инфраструктуры обусловили необходимость формирования новой модели обеспечения экономической безопасности, основанной на принципах цифрового суверенитета, технологической независимости и устойчивости цифровой инфраструктуры [2].

На региональном уровне данная проблема имеет особое значение, так как эффективность функционирования цифровой экономики региона напрямую зависит от способности органов власти своевременно выявлять возникающие цифровые угрозы и принимать управленческие решения по их минимизации.

Республика Татарстан является одним из наиболее цифровых развитых субъектов Российской Федерации. На протяжении последних лет регион занимает лидирующие позиции по уровню цифровизации государственного управления, внедрению интеллектуальных транспортных систем, использованию технологий искусственного интеллекта и развитию цифровой промышленности. Высокий уровень цифровизации экономики обеспечивает значительные конкурентные преимущества региона, однако одновременно увеличивает потенциальную уязвимость перед современными угрозами [3].

В настоящее время в научной литературе широко представлены исследования, посвященные вопросам цифровой экономики, информационной безопасности и экономической безопасности территорий. Вместе с тем большинство существующих методик ориентировано либо на оценку уровня цифровизации региона, либо на анализ отдельных аспектов информационной безопасности. Комплексные подходы к оценке защищенности экономики от цифровых угроз, учитывающие одновременно уровень цифрового развития, технологическую независимость, устойчивость инфраструктуры, кадровый потенциал и готовность органов власти к реагированию на цифровые риски, разработаны недостаточно. Таким образом возникает необходимость формирования комплексного подхода, позволяющего количественно оценивать уровень защищенности экономики региона и использовать полученные результаты в системе государственного управления [4].

Основная часть

Развитие цифровой экономики сопровождается не только расширением возможностей государственного управления и роста производительности труда, но и появлением новых факторов риска, оказывающих прямое влияние на устойчивость региональных социальных и экономических систем. В отличие от традиционных угроз, цифровые угрозы характеризуются высокой скоростью распространения, трансграничным характером, сложностью прогнозирования последствий и существенной зависимостью от состояния информационно-коммуникационной инфраструктуры [5].

Цифровые угрозы представляют собой совокупность факторов, способных привести к нарушению стабильного функционирования цифровой экономики, снижению эффективности государственного управления, потере конфиденциальной информации, нарушению непрерывности производственных процессов, возникновению финансовых потерь и ухудшению качества предоставления государственных услуг. Для Республики Татарстан, обладающей высоким уровнем цифровизации, ключевыми угрозами являются рост количества кибератак на государственные информационные системы, зависимость отдельных отраслей экономики от зарубежного программного обеспечения, дефицит квалифицированных специалистов, увеличение числа атак с использованием технологий искусственного интеллекта, рост количества утечек данных, усиление санкционных ограничений в отношении цифровых технологий и т.д. [6].

Одной из особенностей современных цифровых угроз является их взаимосвязанный характер. Нарушение устойчивости одного элемента цифровой инфраструктуры способно привести к каскадному распространению негативных последствий на функционирование транспортной системы, промышленного комплекса, финансового сектора, здравоохранения, образования и иных сфер экономики. Именно поэтому обеспечение защищенности экономики региона должно рассматриваться как одна из приоритетных функций управления, предполагающая постоянный мониторинг цифровых рисков, оценку уровня цифровой устойчивости и своевременную реализацию превентивных мер [7-9].

Эффективность государственного управления в условиях цифровой трансформации во многом определяется наличием объективных инструментов оценки состояния региональной экономики. Несмотря на существование различных рейтингов цифровизации субъектов Российской Федерации, большинство из них характеризует лишь степень внедрения цифровых технологий, практически не учитывая уровень устойчивости экономики к современным цифровым угрозам [10].

Существующие методики обычно ориентированы на анализ отдельных составляющих цифрового развития, при этом отсутствует единый подход, позволяющий комплексно оценить способность региональной экономики сохранять устойчивое функционирование в условиях возрастающих цифровых рисков. Поэтому предлагается методический подход, основанный на расчете интегрального индекса защищенности экономики (далее – ИЗЭ) региона от цифровых угроз. Его особенностью является комплексный учет не только уровня цифровизации, но и факторов цифровой устойчивости, технологической независимости, состояния информационной инфраструктуры, кадрового потенциала, эффективности государственного управления и способности региона противодействовать современным цифровым угрозам.

Разработка системы оценки основывается на защищенности экономики региона и представляет собой комплексную характеристику, формируемую совокупностью взаимосвязанных факторов. В свою очередь показатели должны быть доступны для регулярного статистического наблюдения либо определяться на основе официальных данных органов исполнительной власти. Немаловажен и тот фактор, что итоговая оценка должна быть удобной для использования в процессе принятия решений и позволять сравнивать различные регионы между собой. Исходя из указанных принципов предлагается объединить показатели в шесть взаимосвязанных блоков, как показано в табл. 1.

Таблица 1

Система индикаторов оценки уровня защищенности экономики региона от современных цифровых угроз

Блок оценки	Индикатор	Характеристика
1. Цифровая инфраструктура	уровень обеспеченности широкополосным доступом	характеризует доступность цифровой инфраструктуры
	уровень развития центров обработки данных	отражает устойчивость хранения информации
	доля отечественного телекоммуникационного оборудования	характеризует технологическую независимость
2. Информационная безопасность	количество зарегистрированных киберинцидентов	отражает уровень цифровых угроз
	доля защищенных государственных информационных систем	характеризует уровень информационной защищенности
	выполнение требований по защите критической информационной инфраструктуры	отражает уровень соответствия требованиям безопасности

Окончание табл. 1

Блок оценки	Индикатор	Характеристика
3. Цифровой суверенитет	доля отечественного программного обеспечения	характеризует независимость цифровой среды
	использование российских облачных платформ	отражает уровень импортонезависимости
	уровень локализации хранения данных	характеризует защищенность информационных ресурсов
4. Государственное управление	уровень цифровизации государственных услуг	отражает зрелость цифрового управления
	уровень межведомственного электронного взаимодействия	характеризует эффективность государственного управления
	использование технологий искусственного интеллекта	отражает инновационный уровень государственного управления
5. Кадровый потенциал	обеспеченность специалистами по информационной безопасности	характеризует кадровую устойчивость
	доля работников цифровых профессий	отражает цифровую зрелость экономики
	объем подготовки ИТ-специалистов	показывает воспроизводство кадрового потенциала
6. Экономическая устойчивость	объем инвестиций в цифровые технологии	характеризует развитие цифровой экономики
	расходы на информационную безопасность	отражает готовность к противодействию угрозам
	уровень цифровизации предприятий	характеризует устойчивость экономики

Для обеспечения сопоставимости разноразмерных показателей используется процедура нормирования. Для стимулирующих показателей предлагается формула:

$$X_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

где: X_i – нормированное значение показателя;

x_i – фактическое значение;

x_{max} – максимальное значение;

x_{min} – минимальное значение.

Для дестимулирующих показателей (например, количество кибератак, число утечек информации) используется обратная зависимость:

$$X_i = \frac{x_{max} - x_i}{x_{max} - x_{min}}$$

После нормирования все показатели принимают значения в диапазоне от 0 до 1, что обеспечивает возможность их агрегирования. На следующем этапе рассчитываются групповые показатели по каждому блоку. Для каждого направления определяется среднее значение нормированных индикаторов:

$$B_j = \frac{\Sigma_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

где:

B_j – значение j-го блока;

n – число показателей блока.

Интегральный индекс защищенности экономики региона определяется как взвешенная сумма групповых показателей. Такой подход обеспечивает прозрачность методики и позволяет применять ее во многих сферах. Предлагается использовать следующую шкалу интерпретации (табл. 2).

Таблица 2

Интерпретация интегрального индекса защищенности экономики региона

Значение индекса	Уровень защищенности	Характеристика
0,80–1,00	Высокий	Экономика обладает высокой устойчивостью к цифровым угрозам, государственное управление эффективно обеспечивает цифровую безопасность.
0,60–0,79	Достаточный	Большинство угроз находится под контролем, имеются отдельные направления, требующие совершенствования.
0,40–0,59	Средний	Существуют значимые цифровые риски, способные негативно повлиять на экономическую безопасность региона.
0,20–0,39	Низкий	Высокая вероятность реализации цифровых угроз, необходим комплекс мер государственного регулирования.
менее 0,20	Критический	Региональная экономика недостаточно защищена, требуется оперативное вмешательство органов государственной власти.

В отличие от существующих рейтингов цифрового развития субъектов Российской Федерации предложенный подход обладает рядом преимуществ. Например, методика ориентирована не только на оценку уровня цифровизации, но и на определение способности региона противостоять современным цифровым угрозам. Также система индикаторов объединяет технические, организационные, институциональные, кадровые и экономические характеристики цифровой устойчивости, что позволяет получить комплексную оценку состояния региональной экономики. В свою очередь интегральный индекс может использоваться в качестве инструмента поддержки принятия управленческих решений. Его применение позволит органам государственной власти своевременно выявлять наиболее уязвимые направления цифрового развития, определять приоритеты распределения бюджетных ресурсов и оценивать эффективность реализуемых программ цифровой трансформации.

Кроме того, предложенная методика обладает высокой адаптивностью. Перечень индикаторов может корректироваться в зависимости от появления новых цифровых угроз, развития нормативно-правовой базы и изменения приоритетов государственной политики в сфере цифровой экономики.

Таким образом, разработанная система оценки формирует аналитическую основу для перехода от реактивного управления к риск-ориентированной модели государственного управления, основанной на постоянном мониторинге уровня защищенности экономики региона.

Например, Республика Татарстан на протяжении последних лет занимает ведущие позиции среди субъектов Российской Федерации по уровню цифровой трансформации экономики и государственного управления. Вместе с тем высокий уровень цифровизации объективно сопровождается расширением цифровых атак.

В целях апробации предложенного методического подхода проведена оценка уровня защищенности экономики Республики Татарстан по шести блокам показателей. Краткие результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты комплексной оценки защищенности экономики Республики Татарстан

Направление оценки	Нормированное значение
Цифровая инфраструктура	0,87
Информационная безопасность	0,79
Цифровой суверенитет	0,74
Государственное управление	0,91
Кадровый потенциал	0,72
Экономическая устойчивость	0,82

Таким образом интегральный индекс защищенности экономики республики равен 0,81. Полученное значение соответствует высокому уровню защищенности экономики региона согласно предложенной шкале оценки.

Вместе с тем проведенный анализ показывает, что наиболее уязвимыми направлениями остаются кадровое обеспечение информационной безопасности, уровень технологической независимости отдельных отраслей, импортозамещение специализированного промышленного программного обеспечения, дальнейшее развитие отечественных цифровых платформ и повышение защищенности объектов критической информационной инфраструктуры.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что Татарстан обладает высоким потенциалом противодействия современным цифровым угрозам. Этому способствует комплексная цифровая трансформация управления, высокий уровень развития инфраструктуры и последовательная реализация политики импортозамещения. Приоритетное значение приобретает повышение качества государственного управления, развитие механизмов мониторинга рисков, совершенствование кадровой политики и укрепление технологической независимости региона.

Предлагаемый интегральный индекс защищенности может использоваться органами власти Республики Татарстан как инструмент стратегического мониторинга, позволяющий оценивать динамику изменения уровня цифровой устойчивости, выявлять наиболее уязвимые элементы цифровой экономики и обосновывать управленческие решения по распределению ресурсов.

Результаты проведенной оценки свидетельствуют о том, что республика обладает высоким уровнем цифрового развития и сформированной системой обеспечения информационной безопасности. Вместе с тем возрастающая сложность цифровой среды, активное внедрение технологий искусственного интеллекта и облачных вычислений требуют перехода от

реагирования на уже произошедшие инциденты к риск-ориентированной модели государственного управления. Таким образом обеспечение защищенности экономики региона должно рассматриваться как непрерывный процесс, включающий мониторинг цифровых угроз, прогнозирование рисков, оценку устойчивости цифровой инфраструктуры и принятие превентивных управленческих решений.

Предлагаемые меры ориентированы не только на повышение уровня защищенности экономики Республики Татарстан, но и могут быть адаптированы для других субъектов Российской Федерации с учетом особенностей их социально-экономического развития.

Заключение

Таким образом, в условиях цифровой трансформации обеспечение экономической безопасности региона невозможно без системной оценки его защищенности от современных цифровых угроз. В отличие от существующих подходов, ориентированных преимущественно на измерение уровня цифровизации, предложенная методика позволяет комплексно оценить способность региональной экономики сохранять устойчивость к внешним и внутренним цифровым воздействиям. Предложенный подход обеспечивает возможность количественной оценки уровня защищенности, проведения межрегиональных сравнений и мониторинга динамики изменений.

Апробация методики на примере Республики Татарстан показала высокий уровень защищенности экономики региона, что обусловлено развитой цифровой инфраструктурой, активным внедрением технологий в управление, реализацией политики импортозамещения и т.д. Вместе с тем выявлены направления, требующие дальнейшего совершенствования, включая повышение технологической независимости, развитие кадрового потенциала, расширение использования отечественного программного обеспечения и т.п.

Представленный методический подход может служить основой для формирования системы стратегического мониторинга цифровой устойчивости субъектов федерации и использоваться при разработке региональных программ цифрового развития, обеспечивая переход к риск-ориентированной модели государственного управления в условиях цифровой экономики.

Список литературы

1. Abdulakhatov M.M. The digital economy is the basis for economic development // Экономика и социум. – 2022. – №10-1 (101). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/the-digital-economy-is-the-basis-for-economic-development (дата обращения: 16.08.2026).

2. Балог, М. М. Защищённость информационного пространства как фактор экономической безопасности региона: инструментарий оценки / М. М. Балог, А. В. Бабкин // π-Economy. 2023. №3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/zaschischyonnost-informatsionnogo-prostranstva-kak-faktor-ekonomicheskoy-bezopasnosti-regiona-instrumentariy-otsenki (дата обращения: 16.08.2026).

3. Eremeeva E., Sadyrtdinov R. Digitalization and e-services in the Russian Federation: problems and ways to improve //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 458. – С. 09006.

4. Аврамчикова, Н. Т. Цифровая трансформация экономики на региональном уровне: стратегия и специфика / Н. Т. Аврамчикова, А. О. Рукосуев // E-Management. – 2022. – №4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-ekonomiki-na-regionalnom-urovne-strategiya-i-spetsifika (дата обращения: 16.08.2026).

5. Gomes S., Lopes J. M., Ferreira L. The impact of the digital economy on economic growth: The case of OECD countries // RAM. Revista de Administração Mackenzie. – 2022. – Т. 23. – №. 6. – С. eRAMD220029.

6. Belyaevskaya-Plotnik L. A. Threats to National Security in the Context of Digital Transformation of the Economy and Public Administration // The geo-economic landscape: a market and social approach. – Институт друштвених наука, 2025. – С. 180–197.

7. Кузовкова, Т. А. Риски цифровой трансформации экономики и общества и инструментарий управления экономической безопасностью бизнеса в цифровой среде / Т. А. Кузовкова, Т. Ю. Салютина // Век качества. – 2024. – №1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/riski-tsifrovoy-transformatsii-ekonomiki-i-obschestva-i-instrumentariy-upravleniya-ekonomicheskoy-bezopasnostyu-biznesa-v-tsifrovoy (дата обращения: 16.08.2026).

8. Obi O. C. et al. Comprehensive review on cybersecurity: modern threats and advanced defense strategies //Computer science & IT research journal. – 2024. – Т. 5. – №. 2. – С. 293–310.

9. Alcaraz C., Lopez J. Digital twin: A comprehensive survey of security threats // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2022. – Т. 24. – №. 3. – С. 1475–1503.

10. Евлампиева, Е. В. Цифровые технологии в государственном управлении как драйвер устойчивости стратегического развития регионов / Е. В. Евлампиева // Сибирский журнал экономических и бизнес-исследований. – 2026. – №1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-tehnologii-v-gosudarstvennom-upravlenii-kak-drayver-ustoychivosti-strategicheskogo-razvitiya-regionov (дата обращения: 16.08.2026).

УДК 004.94

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ УДАРА МОЛНИИ В ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ МЕТОДА КАТЯЩЕЙСЯ СФЕРЫ

Ахтямова А.О., аспирант;
ORCID: 0009-0009-5107-7167;
Гайнутдинов Р.Р., к.т.н., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1973-2941

COMPUTER MODELING OF LIGHTNING STRIKE SELECTIVITY ON AIRCRAFT BASED ON AN ENHANCED ROLLING SPHERE METHOD

Akhtyamova A.O., Postgraduate Student;
ORCID: 0009-0009-5107-7167;
Gainutdinov R.R., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer-Aided Design Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1973-2941

Аннотация

В работе исследуется возможность адаптации метода катящейся сферы для исследования избирательности удара молнии в летательный аппарат, а именно, определения наиболее вероятных областей начальной привязки канала молнии к незаземленным объектам сложной геометрической конфигурации. Метод катящейся сферы получил подтверждение своей применимости в ряде зарубежных исследований и стандартов, посвященных определению зон поражения молнией и защите наземных сооружений. Вместе с тем применение данного метода к незаземленным объектам, в частности к летательным аппаратам, остается недостаточно исследованным. В связи с этим представляет интерес оценка возможности применения метода катящейся сферы для определения областей начальной привязки канала молнии к объектам данного типа. В работе предложен подход к исследованию избирательности удара молнии в летательный аппарат на основе компьютерного моделирования, модификации и развитии

метода катящейся сферы для незаземленных объектов, проведены исследования эффективности предложенного подхода на примере условной модели летательного аппарата. Применение компьютерного моделирования позволяет сократить временные и финансовые затраты, связанные с проведением физических экспериментов, и использовать метод катящейся сферы на этапе предварительной оценки характера воздействия молнии на объект, когда он ещё в «цифровом виде». При этом выбор радиуса катящейся сферы остается одним из недостаточно исследованных вопросов. Влияние данного параметра на определяемые области начальной привязки требует дополнительного исследования и обоснования критериев его выбора. Полученные результаты позволяют рассматривать адаптированный метод катящейся сферы как перспективный инструмент для дальнейшего исследования процессов начального присоединения канала молнии к незаземленным объектам сложной конфигурации.

Ключевые слова: молниевый разряд, метод катящейся сферы, компьютерное моделирование, летательный аппарат

Abstract

The paper examines the possibility of adapting the rolling sphere method for studying lightning strike attachment selectivity to an aircraft, specifically, for determining the most probable areas of initial lightning channel attachment to ungrounded objects of complex geometric configuration. The rolling sphere method has been validated for applicability in a number of foreign studies and standards concerning the determination of lightning strike zones and the protection of ground-based structures. However, the application of this method to ungrounded objects, particularly to aircraft, remains insufficiently explored. In this regard, it is of interest to assess the feasibility of using the rolling sphere method for determining the initial attachment regions of the lightning channel to objects of this type. This work proposes an approach to studying lightning strike selectivity to an aircraft based on computer simulation, modification, and development of the rolling sphere method for ungrounded objects. The effectiveness of the proposed approach has been investigated using a conceptual aircraft model. The use of computer simulation allows for a reduction in the time and financial costs associated with physical experiments, and enables the use of the rolling sphere method at the stage of preliminary assessment of the lightning strike impact on the object while it is still in a «digital» form. At the same time, the selection of the rolling sphere radius remains one of the insufficiently studied issues. The influence of this parameter on the determined initial attachment zones requires further investigation and justification of selection criteria. The obtained results allow the adapted rolling sphere method to be considered a promising tool for further research into the initial attachment processes of the lightning channel to ungrounded objects of complex configuration.

Keywords: lightning discharge, rolling sphere method, computer modeling, aircraft

Введение

Разряды молний являются одним из наиболее опасных природных факторов, воздействующих на здания, сооружения и технические объекты. При ударе молнии в объект протекают импульсные токи амплитудой до 200 кА, сопровождающиеся высокой температурой плазменного канала и мощными электромагнитными полями. Воздействие таких токов может приводить к разрушению конструкций, возникновению пожаров, повреждению электротехнического оборудования и отказам электронных систем. Существуют множество методов исследования молниезащиты наземных сооружений, в число которых входит метод катящейся сферы [1-3]. Его эффективность и применимость подтверждены рядом зарубежных исследований, посвященных анализу зон защиты и вероятности перехвата молнии различными системами молниеприемников [4].

Несмотря на широкое применение метода катящейся сферы при проектировании молниезащиты наземных сооружений, значительно небольшой объем исследований посвящен его использованию для незаземленных объектов, находящихся в воздушном пространстве.

К таким объектам относятся летательные аппараты, не имеющие непосредственного электрического контакта с землей. Для незаземленных объектов характерен иной механизм взаимодействия с молнией. При разряде молнии наблюдается процесс образования точки входа и точки выхода тока молнии, которые являются точками или областями первоначальной привязки канала молнии. Ток протекает от точки входа до точки выхода по внешней поверхности самолета (по токопроводящим конструкциям) благодаря скин-эффекту. Такой процесс может привести к термическому разрушению обшивки в точках входа и выхода, а также сильному электромагнитному воздействию на бортовое оборудование летательных аппаратов, частично выполненных из композитных материалов [5]. В связи с сложным характером воздействия удара молнии на незаземленные объекты, возникает необходимость в прогнозировании точек первоначальной привязки канала молнии и путей протекания токов молнии в целях обеспечения необходимого уровня молниезащиты летательных аппаратов. Метод катящейся сферы может стать одним из основных методов исследования точек первоначальной привязки канала молнии на летательных аппаратах. В настоящей работе рассматривается реализация данного метода средствами компьютерного моделирования, что позволяет исследовать процессы взаимодействия молнии с объектом без проведения натурных экспериментов.

Таким образом, целью настоящей работы является разработка подхода на основе компьютерного моделирования для определения областей первоначальной привязки канала молнии у незаземленных объектов методом катящейся сферы.

Основная часть

Метод катящейся сферы считается основным методом при проектировании молниезащиты сооружений сложной геометрической формы. Он основан на электрогеометрической модели развития нисходящего лидера молнии и позволяет определить участки конструкции, наиболее вероятные с точки зрения присоединения канала молнии и, следовательно, наиболее подверженные прямому удару молнии. Согласно стандартам [1-3], принцип метода основан на прокатывании сферы радиусом $R_{сф}$ по поверхности наземного сооружения (рис. 1). Соприкасающиеся со сферой поверхности считаются потенциально опасными зонами, в которых в дальнейшем будут установлены молниеприемники.

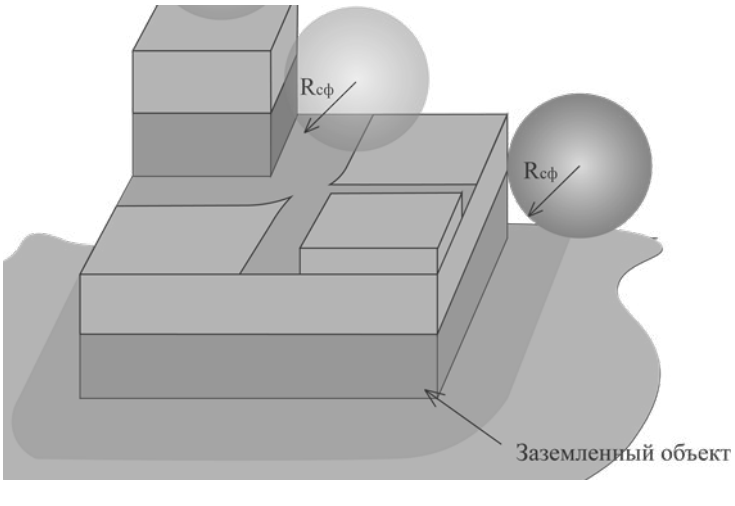


Рис. 1. Иллюстрация принципа метода катящейся сферы

Одной из ключевых проблем адаптации метода катящейся сферы применительно к незаземленным объектам является определение радиуса катящейся сферы. В классической постановке метода радиус зависит от класса молниезащиты и связан с «расстоянием стягивания», то есть дистанцией перехвата нисходящего лидера, которая определяется характеристиками тока молнии. Для наземных объектов в стандартах [1-3] определены фиксированные значения радиусов для классов молниезащиты (табл. 1).

Таблица 1

Взаимосвязь между уровнем молниезащиты, минимальным пиковым током и радиусом сферы

Уровень молниезащиты	Минимальный пиковый ток (кА)	Радиус сферы (м)
I	3	20
II	5	30
III	10	45
IV	16	60

Однако для незаземленных объектов, движущихся в атмосфере и не имеющих аналогичного механизма заземления, выбор радиуса согласно представленным выше данным не является вполне корректным, поскольку на вероятность поражения влияют высота полета, геометрия объекта, распределение электрического поля и особенности развития лидера. Поэтому разработка и исследование подходов к определению эквивалентного радиуса катящейся сферы для незаземленных объектов представляет собой актуальную научную задачу, решение которой может быть получено средствами численного моделирования.

В данной работе расчет радиуса катящейся сферы выполняется по формуле, предложенной Э.Р. Лавом [6-7]. Она широко используется инженерами по передаче и распределению электроэнергии

$$R_{\text{сф}} = 10 \cdot I^{0,65},$$

где I – значение пикового тока I первого обратного удара молнии [кА].

Для расчета радиуса катящейся сферы для незаземленных объектов на данный момент имеется мало данных о пиковом значении тока первого обратного удара молнии. В связи с этим, при отсутствии данных об амплитуде тока молнии для определения ее значения предлагается использовать статистическое распределение амплитуды тока молнии на основе модели, предложенной Комягиным С.В. (рис. 2) [8].

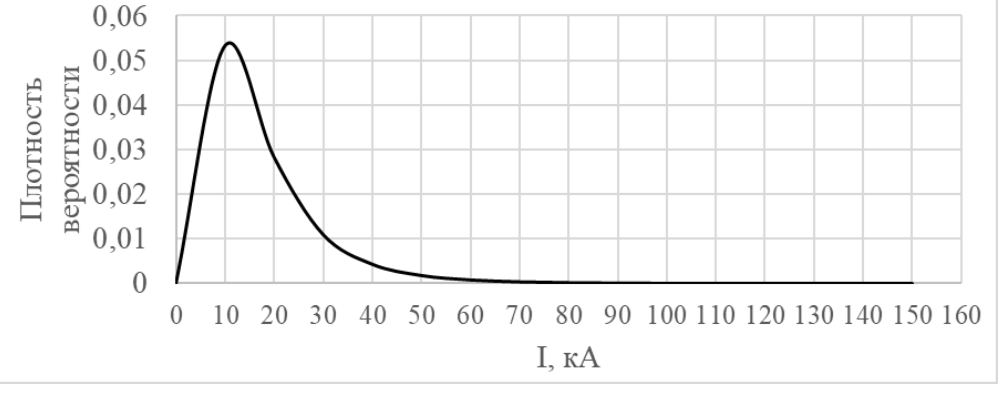


Рис. 2. Статистическое распределение амплитуды тока молнии

В рамках исследования рассмотрен пример прокатывания сферы по поверхности условной модели летательного аппарата, длина которого составляет 60 м. На рис. 3 представлена исходная трехмерная модель летательного аппарата.

Расчетный радиус катящейся сферы равен 39 м. Результат определения областей начальной привязки канала молнии на летательном аппарате методом катящейся сферы представлен на рис. 4. Серым цветом отмечены области, относящиеся к безопасным зонам, красным цветом – области первоначальной привязки канала молнии.

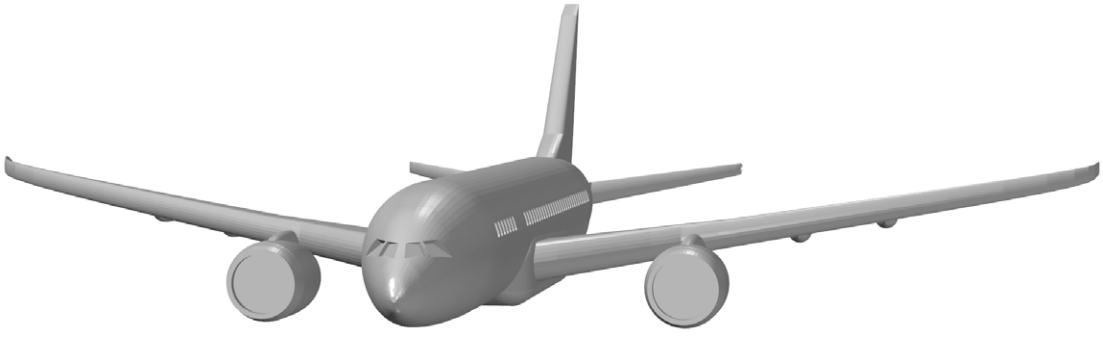
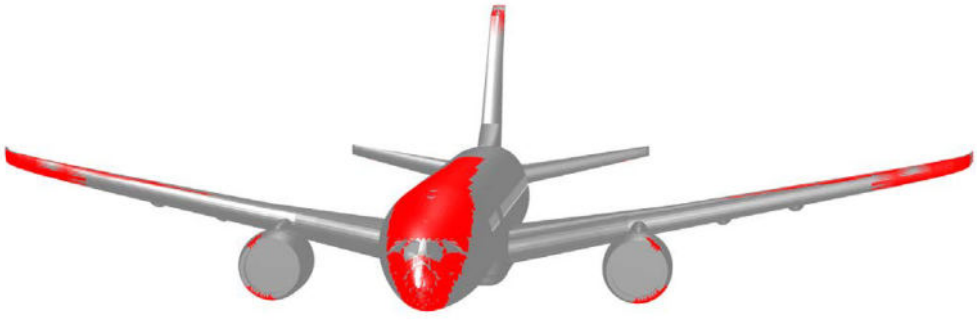


Рис. 3. Графическое представление модели абстрактного летательного аппарата



а



б

Рис. 4. Области начальной привязки канала молнии на летательном аппарате
(а – носовая часть, б – хвостовая часть)

Согласно результатам проведенного исследования, области начальной привязки канала молнии, определенные методом катящейся сферы, полностью охватывают типовые области привязки канала молнии к летательному аппарату: носовую часть, законцовки крыльев и хвостового оперения [9-10]. Это свидетельствует о возможности применения метода катящейся сферы для определения областей наиболее вероятной начальной привязки канала молнии на летательных аппаратах сложной геометрической конфигурации.

Выводы

В работе предложен подход к исследованию избирательности удара молнии в летательный аппарат на основе компьютерного моделирования, модификации и развития метода катящейся сферы для незаземленных объектов. Рассмотрена применимость данного подхода для объектов сложной геометрической конфигурации, в частности для условной модели летательного аппарата.

Показано, что применение метода катящейся сферы к незаземленным объектам может обеспечить более детализированное представление об областях первоначальной привязки канала молнии. Метод позволяет учитывать геометрические особенности объекта и выявлять совокупность областей, потенциально наиболее подверженных начальному присоединению канала, что особенно актуально для объектов сложной конфигурации.

На примере условной модели установлено, что области начальной привязки канала молнии, определенные методом катящейся сферы, полностью охватывают типовые области привязки канала молнии к летательному аппарату – носовую часть, законцовки крыльев и хвостового оперения. Полученный результат свидетельствует о возможности применения метода катящейся сферы для определения областей наиболее вероятной начальной привязки канала молнии к летательным аппаратам.

Показана принципиальная возможность реализации рассматриваемого подхода на основе компьютерного моделирования. Это позволяет проводить анализ распределения потенциальных областей начального присоединения канала молнии без необходимости изготовления физических моделей и проведения значительного объема натурных или лабораторных испытаний. В результате применение компьютерного моделирования потенциально обеспечивает сокращение временных и финансовых затрат на предварительную оценку молниезащищенности объектов и исследование влияния их геометрии.

Вместе с тем выбор радиуса сферы при применении метода к незаземленным объектам остается недостаточно исследованным вопросом. Обоснование критериев выбора радиуса сферы, а также исследование чувствительности результатов к изменению данного параметра требуют дополнительного рассмотрения в дальнейших исследованиях.

Результаты выполненного исследования показывают перспективность метода катящейся сферы в отношении к незаземленным объектам. Предложенный подход может рассматриваться как инструмент предварительного анализа областей наиболее вероятной начальной привязки канала молнии к объектам сложной геометрии и как основа для дальнейшего развития расчетных методов оценки их молниезащиты.

Список литературы

1. IEC 62305-3:2010. Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard. – Geneva : International Electrotechnical Commission, 2010.

2. ГОСТ Р 59789–2021 (МЭК 62305-3:2010). Молниезащита. Часть 3. Защита зданий и сооружений от повреждений и защита людей и животных от электротравматизма. – Москва : Стандартинформ, 2021.

3. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – Москва : Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

4. Arevalo, L. The mesh method in lightning protection standards – revisited / L. Arevalo, V. Cooray // Journal of Electrostatics. – 2010. – Vol. 68, no. 4. – P. 311–314. – DOI: 10.1016/j.elstat.2010.03.003. – URL: https://doi.org/10.1016/j.elstat.2010.03.003 (дата обращения: 12.07.2026).

5. Gaynutdinov R. R. and Chermoshentsev S. F. Study of impact lightning at of electromagnetic and thermal stability of fuselage of unmanned aerial vehicle, 2016 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE), Saratov, Russia, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/APEDE.2016.7878888.

6. Investigation and improvement of standard external lightning protection system: industrial case study / I. M. Y. Negara, D. Fahmi, D. A. Asfani [et al.] // Energies. – 2021. – Vol. 14, № 14. – Art. 4118. – DOI: 10.3390/en14144118. – URL: https://doi.org/10.3390/en14144118 (дата обращения: 16.07.2026).

7. Lightning protection methods for wind turbine blades: an alternative approach / V. Mucsi, A. S. Ayub, F. Muhammad-Sukki [et al.] // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, № 6. – Art. 2130. – DOI: 10.3390/app10062130. – URL: https://doi.org/10.3390/app10062130 (дата обращения: 17.07.2026).

8. Комягин, С. И. Электромагнитная стойкость беспилотных летательных аппаратов. Т. 2 : Методология решения проблемы / С. И. Комягин. – Москва : URSS, 2019. – 320 с.

9. SAE ARP5414B. Aircraft Lightning Zone. Warrendale, PA : SAE International, 2026. – DOI: 10.4271/ARP5414B. – URL: https://doi.org/10.4271/ARP5414B (дата обращения: 02.08.2026).

10. Aircraft charging and its influence on triggered lightning / C. Pavan, P. Fontanes, M. Urbani [et al.] // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2020. – Vol. 125, № 1. – Art. e2019JD031245. – DOI: 10.1029/2019JD031245. – URL: https://doi.org/10.1029/2019JD031245 (дата обращения: 02.08.2026).

УДК 550.832:004.8

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ КАРОТАЖНЫХ ДАННЫХ, ОЦЕНКЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И КОМПЛЕКСИРОВАНИЮ АРХИВНОЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ СКРЫТЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Байбулатов И.И., аспирант Института вычислительной математики и информационных технологий;
ORCID: 0009-0007-1207-548X;
Кокунин П.А., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой физики перспективных технологий и материаловедения Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-3777-6414

MODERN APPROACHES TO WELL LOG DATA RECONSTRUCTION, UNCERTAINTY ASSESSMENT, AND INTEGRATION OF ARCHIVAL GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA FOR DETECTING HIDDEN GEOLOGICAL ANOMALIES

Baibulatov I.I., PhD student, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies;
ORCID: 0009-0007-1207-548X;
Kokunin P.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics of Advanced Technologies and Materials Science, Institute of Artificial Intelligence, Robotics and System Engineering, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-3777-6414

Аннотация

Неполнота архивных геолого-геофизических данных затрудняет построение геологических моделей, межскважинную интерполяцию и последующую интерпретацию геологического строения. Методы машинного обучения позволяют восстанавливать отсутствующие каротажные кривые, однако точечное восстановленное значение не содержит оценки неопределенности, которая может влиять на степень доверия к результатам. В данной работе проведен сравнительный анализ 10 публикаций 2020-2025 гг., сгруппированных по трем направле-

ниям: восстановление каротажных данных, оценка неопределенности и комплексный анализ геолого-геофизической информации. Установлено, что в проанализированной литературе эти направления чаще развиваются отдельно друг от друга. На этой основе сформулирована научная проблема учета неопределенности восстановленных признаков при комплексной интерпретации архивных геологических данных.

Ключевые слова: каротажные данные, восстановление пропусков, машинное обучение, оценка неопределенности, комплексирование данных, геолого-геофизическая интерпретация, скрытые геологические аномалии

Abstract

The incompleteness of archival geological and geophysical data complicates the construction of geological models, interwell interpolation, and subsequent interpretation of geological structure. Machine learning methods make it possible to reconstruct missing well-log curves; however, a point reconstructed value does not include an uncertainty estimate, which may affect the level of confidence in the results. This paper presents a comparative analysis of 10 publications from 2020-2025, grouped into three areas: well-log data reconstruction, uncertainty assessment, and integrated analysis of geological and geophysical information. It is established that, in the analyzed literature, these areas are more often developed separately from one another. On this basis, the scientific problem of accounting for the uncertainty of reconstructed features in the integrated interpretation of archival geological data is formulated.

Keywords: well-log data, missing data reconstruction, machine learning, uncertainty quantification, data integration, geological and geophysical interpretation, latent geological anomalies

Введение

Архивные геолого-геофизические данные используются при повторной интерпретации материалов по месторождениям, уточнении строения залежей и поиске ранее не выделенных перспективных зон. Их практическая ценность зависит от полноты каротажных кривых, согласованности измерений и сопоставимости данных разных лет. Пропуски каротажных кривых, различия глубинной дискретизации и неоднородность качества измерений могут искажать результаты последующей интерпретации.

Для работы с неполными каротажными данными применяются разные группы методов. Классические алгоритмы машинного обучения используют нелинейные связи между имеющимися и отсутствующими кривыми. Глубокие нейронные сети могут учитывать изменение каротажных параметров по глубине и связи между соседними скважинами. Генеративные модели применяются для восстановления пропусков и получения синтетических каротажных кривых, а физически обоснованные подходы дополняют статистические методы петрофизическими и геологическими ограничениями.

Точность восстановления данных не всегда решает вопрос о дальнейшем использовании восстановленной кривой. Во многих работах качество модели оценивается по ошибке прогноза, тогда как для геологической интерпретации важно учитывать надежность признака в конкретном интервале, фации или зоне с низким качеством исходной информации. Если восстановленная кривая используется как эквивалент непосредственно измеренной, ошибка реконструкции может перейти в последующие этапы исследований.

В проанализированной литературе недостаточно представлена связь между тремя рассматриваемыми направлениями. Работы по оценке неопределенности показывают значимость вероятностного описания прогноза, а исследования по комплексированию подтверждают ценность совместного использования скважинных, сейсмических и керновых данных. Остается открытым вопрос о том, как надежность восстановленных каротажных признаков должна учитываться в последующей интерпретационной модели.

Под скрытыми геологическими аномалиями в статье понимаются интервалы или пространственные зоны, отличающиеся от фонового геологического строения и выявляемые по

совокупности каротажных, сейсмических и иных геолого-геофизических признаков. В качестве первой воспроизводимой задачи последующей интерпретации целесообразно рассматривать литофациальную классификацию по каротажным данным.

Цель статьи – сопоставить современные подходы к восстановлению каротажных данных, оценке неопределенности и комплексированию геолого-геофизической информации, а также сформулировать научную проблему учета неопределенности восстановленных признаков при работе с архивными геологическими данными.

Материалы и методика анализа

Анализ охватывает 10 публикаций 2020-2025 гг., отобранных по тематической релевантности. В процессе анализа публикации были сгруппированы по трем направлениям. Первое направление связано с восстановлением отсутствующих каротажных данных. Второе включает исследования, в которых неопределенность рассматривается как самостоятельная характеристика. Третье направление объединяет работы по комплексированию скважинных, сейсмических и керновых данных для последующей геолого-геофизической интерпретации. Выявление скрытых геологических аномалий рассматривается как результат комплексной интерпретации, поскольку оно зависит от качества и согласованности всех используемых данных.

Публикации сопоставлялись по исследовательской задаче, типу данных, применяемому методу, выходному результату, способу оценки качества, наличию оценки неопределенности, связи с последующей интерпретацией и ограничениями. Такой способ анализа позволил рассмотреть не только возможности отдельных методов, но и слабые места на стыке этапов. Особое внимание уделялось тому, передается ли информация о неопределенности восстановленных кривых в последующую интерпретационную задачу.

Восстановление недостающих каротажных данных

Восстановление недостающих каротажных кривых сформировалось как самостоятельная прикладная задача машинного обучения, поскольку полный набор измерений редко доступен для всех скважин и интервалов. Qiao и соавт. [1] рассматривают восстановление кривых как регрессионную задачу, где отсутствующая кривая прогнозируется по другим каротажным признакам, а информативные параметры предварительно отбираются алгоритмами машинного обучения. Такой подход показывает, что статистические связи между кривыми можно использовать для заполнения пропусков при достаточно согласованной обучающей выборке.

Глубокие нейронные сети расширяют эту постановку за счет учета нелинейных зависимостей и структуры каротажных данных по глубине. Vazquez-Ayala и соавт. [2] прогнозируют акустический каротаж по другим геофизическим кривым с использованием сверточных и рекуррентных моделей. Такие решения актуальны для архивных данных, где часть кривых отсутствует, но доступны результаты других исследований, например, сейсмические признаки.

Генеративные модели применяются в тех случаях, когда важно восстановить не только отдельные значения, но и форму кривой по глубине. Al-Fakih и соавт. [3] используют последовательные генеративно-состязательные сети (GAN) для заполнения пропусков и получения синтетических каротажных кривых. Подобные методы полезны при интервальных пропусках, где простая интерполяция может нарушать структуру сигнала. При этом внешняя правдоподобность восстановленного ряда сама по себе не подтверждает его пригодность для геологической интерпретации.

Физически обоснованные подходы направлены на снижение риска чисто статистического восстановления. Akmal и Pyrcz [4] предлагают моделировать расхождение между физической моделью и наблюдаемыми данными, используя машинное обучение для уточнения петрофизических параметров. Такой подход ограничивает реконструкцию физическими и геологическими закономерностями. Для архивных данных это важно, поскольку восстановленная кривая должна быть согласована не только с другими каротажными признаками, но и со строением геологического разреза исследуемой территории.

Сравнение работ по восстановлению каротажных кривых показывает, что в литературе представлены разные группы методов с различными требованиями к данным и способами учета геологического контекста. Их общее ограничение состоит в том, что результат часто представляется как одно восстановленное значение. Для последующего анализа этого недостаточно, если не указано, насколько реконструкция стабильна в конкретном интервале и при данном составе исходных признаков.

Оценка неопределенности восстановленных признаков

Точность восстановления и неопределенность описывают разные стороны качества модели. Точность восстановления характеризует близость прогноза к известному значению на проверочных данных. Неопределенность задает диапазон или распределение возможных значений. Надежность признака в последующей модели зависит от обеих характеристик, а не только от средней ошибки.

Для архивных геологических данных полезно различать неопределенность данных и неопределенность модели. Неопределенность данных связана с шумом измерений и неоднородным качеством архива. Неопределенность модели отражает зависимость результата от обучающей выборки, структуры модели и выбранных параметров. Эти компоненты могут проявляться одновременно, поэтому точечный прогноз без интервала или распределения остается неполным описанием восстановленного признака.

Maldonado-Cruz и соавт. [5] рассматривают восстановление акустического каротажа через модели неопределенности и подчеркивают недостаточность оценки только точечного прогноза. В их постановке требуется проверять не только значение восстановленной кривой, но и качество распределения неопределенности. Такая логика важна для задач планирования разработки, прогноза перед бурением и ресурсной оценки, где восстановленные каротажные данные могут влиять на последующие решения.

Близкие подходы используются в смежных геофизических задачах. Chala и Ray [6] объединяют интерпретируемую модель машинного обучения с байесовской обобщенной линейной моделью для прогнозирования скорости поперечной волны и количественной оценки неопределенности прогноза. Ma и соавт. [7] исследуют влияние параметров геологической модели на неопределенность оценки залежи с применением факторного анализа и моделирования Монте-Карло. Эти работы показывают, что оценка неопределенности выступает важной частью моделирования.

Методическое ограничение состоит в том, что неопределенность часто оценивается внутри отдельной задачи. Для анализа архивных данных важно определить, как интервал возможных значений должен влиять на вес признака, степень доверия к интерпретации и устойчивость итогового результата. Под устойчивостью интерпретации понимается сохранение классификационного или геологического вывода при изменении сценария пропусков и неопределенности восстановленных признаков.

Комплексирование и последующая геолого-геофизическая интерпретация

Комплексирование скважинных, сейсмических и керновых данных используется для снижения неоднозначности геологической интерпретации. Скважинные данные подробно описывают разрез в точке измерения, сейсмические материалы позволяют проследить пространственные изменения между скважинами, а керн дает независимую литологическую и петрофизическую проверку. Совместный анализ этих источников особенно важен для зрелых и архивно изученных объектов, где новые измерения ограничены, а качество старых данных неоднородно.

Работы, в которых совместно рассматривают каротажные и сейсмические данные, показывают практическую ценность комплексирования при недостатке информации: дефицит скважинной информации может частично компенсироваться сейсмическими признаками [8, 9].

Разномасштабное моделирование развивает эту идею за счет учета закономерностей между скважинами. Peng и соавт. [8] используют каротажные данные из интервалов разной

протяженности для учета осадочной цикличности при построении начальной трехмерной модели сейсмической инверсии. Такие подходы работают наиболее корректно при согласованности исходных признаков и предметной проверке их качества.

Последующая интерпретация включает прогноз петрофизических свойств, стратиграфическую корреляцию, структурный анализ и выделение геологических объектов. Dai и соавт. [9] применяют сейсмическую седиментологию на основе многоволновых сейсмических волн и коллектора в плотных песчаниках.

Ограничение этого направления связано с входными данными. В работах по комплексированию обычно предполагается, что используемые каротажные данные уже подготовлены и пригодны для совместного анализа. Если часть кривых получена расчетным путем, необходимо проверить, как их неопределенность должна учитываться при совместном использовании с непосредственно измеренными значениями.

Сравнительный анализ и формулировка научной проблемы

Сравнение публикаций показывает, что три рассматриваемых направления относятся к одной практической цепочке, но методически связаны недостаточно. Восстановление каротажа отвечает на вопрос о том, как реконструировать отсутствующую кривую. Оценка неопределенности характеризует диапазон возможных значений и надежность восстановленного прогноза. Комплексирование определяет, как этот признак используется вместе с другими геолого-геофизическими данными.

Результаты сравнительного анализа приведены в табл. 1.

Из сопоставления следует, что научный разрыв связан не с отсутствием отдельного метода, а с недостаточной связанностью этапов. В рассмотренных публикациях недостаточно описан механизм, который позволяет использовать восстановленную каротажную кривую не только как числовой признак, но и как результат моделирования с количественно оцененной неопределенностью.

Гипотеза дальнейшего исследования состоит в том, что учет неопределенности восстановленных каротажных кривых может изменить точность и устойчивость последующей интерпретации по сравнению с использованием только точечных восстановленных значений.

Направление дальнейших исследований

Для проверки сформулированной выше гипотезы предлагается провести сквозной эксперимент на наборе данных FORCE 2020, который содержит каротажные кривые и экспертную литофациальную разметку [10]. Это позволит на одних и тех же данных последовательно проверить восстановление пропусков, оценить неопределенность восстановленных значений и определить ее влияние на литофациальную классификацию.

На основе данных из набора FORCE 2020 планируется искусственно создавать в каротажных кривых три типа пропусков: случайно отсутствующие значения, непрерывные интервальные пропуски и отсутствие целой каротажной кривой. Обучающую и тестовую выборки планируется формировать из разных скважин до создания искусственных пропусков, чтобы модель проверялась на полностью новых для нее данных.

Предлагается сопоставить четыре режима анализа: контрольные данные до искусственного создания пропусков; данные с искусственными пропусками без восстановления; данные после детерминированного восстановления; те же восстановленные данные, дополненные количественной оценкой неопределенности. В качестве базовых методов могут использоваться статистическая интерполяция, случайный лес или градиентный бустинг и нейронные модели. Статистическую интерполяцию целесообразно применять к отдельным и интервальным пропускам, тогда как восстановление целой кривой требует использования связей с другими каротажными признаками. Неопределенность может оцениваться с помощью ансамблевого или байесовского подхода и передаваться в классификатор как дополнительный признак либо через несколько вероятностных реализаций восстановленной кривой.

Таблица 1

Сравнительный анализ направлений исследований

Направление	Задача	Рассмотренные методы	Результат	Учет неопределенности	Основное ограничение	Источники
Восстановление данных	Реконструкция отсутствующих каротажных кривых	Классические алгоритмы машинного обучения, сверточные и рекуррентные нейронные сети, генеративно-состязательные и физически обоснованные модели	Восстановленные значения или каротажные кривые	Часто не является центральной частью постановки	Недостаточно проверяется влияние восстановленных кривых на последующую интерпретацию	[1-5]
Оценка неопределенности	Количественная оценка диапазона возможных значений и надежности прогноза	Ансамблевые методы, байесовское моделирование, анализ чувствительности и моделирование Монте-Карло	Предсказательные интервалы, распределения и вероятностные оценки	Является центральной частью постановки	Оценка неопределенности редко передается в последующую интерпретационную задачу	[5-7]
Комплексирование и интерпретация	Совместный анализ скважинных, сейсмических и керновых данных	Сейсмическая инверсия, трехмерное геологическое моделирование, стратиграфическая корреляция и сегментация геологических объектов	Оценка строения и свойств коллектора, корреляция пластов и выделение геологических объектов	Как правило, не рассматривается как отдельная характеристика входных данных	Не описан механизм учета надежности восстановленных данных	[8; 9]

Качество восстановления следует оценивать с помощью MAE, RMSE и R^2, а качество оценки неопределенности – по покрытию и ширине предсказательных интервалов и калибровочной ошибке. Для литофациальной классификации целесообразно использовать сбалансированную точность, макроусредненную F1-меру и матрицу ошибок. Ожидаемый результат состоит в определении, влияет ли учет неопределенности на точность и устойчивость классификации по сравнению с использованием неполных и детерминированно восстановленных данных.

Выводы

Проведенный анализ позволил выделить три взаимосвязанных направления исследований: восстановление недостающих каротажных данных, количественную оценку неопределенности восстановленных значений и комплексирование геолого-геофизической информации для последующей интерпретации. Рассмотренные работы показывают, что для каждого направления разработаны самостоятельные методы, однако их объединение в единую последовательную схему представлено недостаточно.

Установлено, что оценка точности восстановления каротажной кривой сама по себе не позволяет определить надежность ее дальнейшего использования. Научный разрыв состоит в недостаточной проработанности механизма, связывающего неопределенность восстановленных каротажных признаков с результатами последующей интерпретации. На этой основе сформулирована гипотеза о том, что учет неопределенности может изменить точность и устойчивость интерпретационного результата по сравнению с использованием только точечных восстановленных значений.

Для проверки гипотезы предложен эксперимент на наборе данных FORCE 2020 с применением методов машинного обучения и количественной оценки неопределенности. Ожидаемый результат состоит в установлении того, влияет ли учет неопределенности восстановленных признаков на качество и устойчивость литофациальной классификации. Предлагаемая схема в дальнейшем может быть расширена для комплексирования скважинных и сейсмических данных.

Список литературы

1. Qiao L., Cui Y., Jia Z., Xiao K., Su H. Missing Well Logs Prediction Based on Hybrid Kernel Extreme Learning Machine Optimized by Bayesian Optimization // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. Article 7838. https://doi.org/10.3390/app12157838.

2. Vazquez-Ayala J. A., Ortiz-Aleman J. C., Lopez-Juarez S., Couder-Castaneda C., Trujillo-Alcantara A. Prediction of Sonic Well Logs Using Deep Neural Network: Application to Petroleum Reservoir Characterization in Mexico // Geosciences. – 2025. – Vol. 15. Article 424. https://doi.org/10.3390/geosciences15110424.

3. Al-Fakih A., Koeshidayatullah A., Mukerji T., Al-Azani S., Kaka S. I. Well log data generation and imputation using sequence based generative adversarial networks // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Article 11000. https://doi.org/10.1038/s41598-025-95709-0.

4. Akmal L., Pyrcz M. J. Physics-Based Discrepancy Modeling for Well Log Imputation // Mathematical Geosciences. – 2025. – Vol. 57. P. 1235-1264. https://doi.org/10.1007/s11004-025-10203-7.

5. Maldonado-Cruz E., Foster J. T., Pyrcz M. J. Sonic Well-Log Imputation Through Machine-Learning-Based Uncertainty Models // Petrophysics. – 2023. – Vol. 64, № 2. P. 253-270. https://doi.org/10.30632/PJV64N2-2023a7.

6. Chala A. T., Ray R. Uncertainty Quantification in Shear Wave Velocity Predictions: Integrating Explainable Machine Learning and Bayesian Inference // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15. Article 1409. https://doi.org/10.3390/app15031409.

7. Ma P., Lin C., Liu H., Li S., Wang S. Uncertainty evaluation and model optimization in multi-source reservoir modeling // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. Article 19004. https://doi.org/10.1038/s41598-025-04185-z.

8. Peng Z., Cao D., Xu H., Zhu D., Wang P. Multi-scale information fusion of well-logging data-based deep learning 3D modeling method // Journal of Geophysics and Engineering. – 2025. – Vol. 22, № 6. P. 1671-1686. https://doi.org/10.1093/jge/gxaf102.

9. Dai J., Lv W., Wei W., Yan Y., Luo B., Ran Q., Chen K., Wang Y. Multi-wave seismic sedimentology in geological anomaly characterization: methodological innovations and case applications // Frontiers in Earth Science. – 2025. – Vol. 13. Article 1675581. https://doi.org/10.3389/feart.2025.1675581.

10. Bormann P., Aursand P., Dilib F., Manral S., Dischington P. FORCE 2020 Well well log and lithofacies dataset for machine learning competition : dataset. Zenodo, 2020. – https://doi.org/10.5281/zenodo.4351156. – URL: https://zenodo.org/records/4351156 (дата обращения: 03.08.2026).

УДК 658.009.12:621

СОВРЕМЕННЫЕ ФАКТОРЫ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ, ПРОИЗВОДЯЩИХ ОБОРУДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

Бобров А.Е., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»;
ORCID: 0009-0009-7551-6531;
Прыгунова М.И., к.э.н., доцент, заведующий отделом, ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-4290-6487

MODERN COMPETITIVENESS FACTORS OF ENTERPRISES MANUFACTURING PLASMA CUTTING EQUIPMENT

Bobrov A.E., Student, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI;
ORCID: 0009-0009-7551-6531;
Prygunova M.I., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of Department, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-4290-6487

Аннотация

В статье исследуются факторы, определяющие конкурентоспособность предприятий, выпускающих оборудование для плазменной резки металла. Рассмотрены технические, эксплуатационные, сервисные и рыночные характеристики продукции, оказывающие наибольшее влияние на конкурентные позиции производителей. Проанализированы современные тенденции развития российского и мирового рынков оборудования для плазменной резки и металлообрабатывающих станков. Установлено, что ключевыми направлениями развития отрасли выступают цифровизация производственных процессов, внедрение автоматизированных технологий, реализация политики импортозамещения и повышение роли сервисного сопровождения оборудования. На основе анализа научной литературы и отраслевых аналитических материалов систематизированы внутренние и внешние факторы, влияющие на уровень конкурентоспособности предприятий машиностроения. Полученные результаты могут быть использованы при разработке мероприятий, направленных на укрепление конкурентных преимуществ отечественных производителей оборудования для плазменной резки, а также при формировании стратегий их долгосрочного развития.

Ключевые слова: конкурентоспособность предприятия, оборудование плазменной резки, машиностроение, металлообрабатывающие станки, промышленное производство, цифровизация, импортозамещение, автоматизация производства, сервисное обслуживание

Abstract

The article examines the factors determining the competitiveness of enterprises manufacturing plasma cutting equipment. Particular attention is given to the technical, operational, service, and market characteristics that shape the competitive position of manufacturers. The study analyzes current development trends in the Russian and global markets for plasma cutting equipment and metalworking machinery. The findings indicate that the industry's development is increasingly driven by production digitalization, automation technologies, import substitution policies, and the growing importance of after-sales service. Based on a review of academic publications and industry reports, the study systematizes the internal and external factors influencing the competitiveness of machine-building enterprises. The findings can be applied in the development of measures aimed at strengthening the competitive advantages of Russian plasma cutting equipment manufacturers and in designing their long-term development strategies.

Keywords: enterprise competitiveness, plasma cutting equipment, mechanical engineering, machine tools, industrial production, digitalization, import substitution, production automation, after-sales service

Введение

В настоящее время развитие промышленного производства напрямую зависит от уровня технологической оснащенности предприятий. Оборудование для плазменной резки широко применяется в машиностроении, металлообработке, строительстве и других отраслях промышленности благодаря высокой производительности, точности обработки и возможности резки большинства токопроводящих металлов. В современных условиях конкурентоспособность производителей определяется не только техническими характеристиками оборудования, но и его эксплуатационной эффективностью, уровнем автоматизации, надежностью, стоимостью владения и качеством сервисного обслуживания. Среди наиболее значимых параметров выделяются точность резки, диапазон обрабатываемых толщин металла, скорость обработки, энергоэффективность, надежность оборудования, удобство программного управления, а также возможность адаптации оборудования к требованиям конкретного производства. Современное развитие отрасли связано с внедрением цифровых технологий, систем числового программного управления и автоматизацией производственных процессов, что существенно повышает требования к продукции машиностроительных предприятий [1].

Методика

Методологическую основу исследования составили общенаучные и специальные методы экономического анализа. Во-первых, для изучения современных подходов к оценке конкурентоспособности промышленных предприятий проведен анализ отечественных и зарубежных научных публикаций. Во-вторых, использован сравнительный анализ тенденций развития российского и мирового рынков оборудования для плазменной резки и металлообрабатывающих станков. В-третьих, применялись статистические методы для оценки динамики производства, структуры спроса и уровня импортозависимости отрасли. Также при рассмотрении факторов конкурентоспособности использован системный подход, позволяющий учитывать взаимосвязь внутренних характеристик предприятия с воздействием внешней рыночной среды.

Информационной базой исследования послужили научные статьи, отраслевые аналитические обзоры, материалы профессиональных объединений и статистические данные, характеризующие состояние рынка оборудования для плазменной резки.

Объект исследования – предприятия, специализирующиеся на производстве оборудования для плазменной резки металла.

Предмет исследования – совокупность внутренних и внешних факторов, оказывающих влияние на конкурентоспособность предприятий и формирование их конкурентных преимуществ.

Научная новизна исследования состоит в разработке матрицы комплексной оценки конкурентоспособности производителей оборудования для плазменной резки. В отличие от существующих подходов предложенная модель учитывает не только традиционные технико-экономические показатели, но и отраслевую специфику, уровень цифровизации производственных процессов, развитие сервисной инфраструктуры и способность предприятий адаптировать продукцию к требованиям различных категорий потребителей. Такой подход позволяет более полно оценивать конкурентные позиции производителей и определять приоритетные направления их дальнейшего развития.

Основная часть

В обобщённом виде основные критерии конкурентоспособности оборудования плазменной резки можно представить следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Основные критерии конкурентоспособности оборудования плазменной резки

Группа критериев	Конкретный критерий	Содержание
Технические	Точность реза	Обеспечение требуемой геометрии и качества кромки при раскрое металла
Технические	Диапазон обрабатываемых толщин	Возможность резки тонколистового и толстолистового проката в заданном диапазоне
Технические	Производительность	Скорость резки и суммарная выработка оборудования за единицу времени
Эксплуатационные	Надёжность узлов	Безотказность работы основных компонентов (портал, привод, плазмотрон) и ресурс их службы
Эксплуатационные	Энергоэффективность	Уровень энергопотребления на единицу выполненной работы
Эксплуатационные	Удобство программного управления	Интуитивность интерфейса, гибкость настройки режимов, интеграция с CAD/CAM-системами
Сервисные	Качество сервисного сопровождения	Скорость реакции сервиса, наличие расходных материалов и запасных частей, удалённая диагностика
Рыночные	Адаптация под требования заказчика	Возможность конфигурирования станка под специфику производства конкретного клиента

Перечисленные критерии далее используются при анализе конкурентоспособности предприятий, производящих оборудование плазменной резки.

Станкостроение традиционно относится к числу наиболее сложных и наукоемких отраслей промышленности. Это связано как с необходимостью обеспечения высокой точности изготовления, так и с длительным производственным циклом и повышенными требованиями к качеству комплектующих. При оценке конкурентоспособности производителей металлообрабатывающего оборудования ключевую роль играют эксплуатационные характеристики продукции, поскольку именно они определяют ее практическую эффективность на предпри-

ятиях-потребителях. В первую очередь речь идет о точности обработки, надежности, производительности, сроке службы и стабильности работы оборудования в различных условиях эксплуатации.

В последние годы источники конкурентных преимуществ заметно смещаются в сторону внедрения цифровых решений: систем числового программного управления, автоматизации производственных процессов, а также развития сервисной инфраструктуры. Особенно это проявляется в сегменте индивидуальных и мелкосерийных заказов, где важны не только технические параметры оборудования, но и его гибкость, возможность адаптации под требования заказчика, а также оперативность сервисного и технического сопровождения.

Мировой рынок оборудования для плазменной резки демонстрирует устойчивый рост. Это во многом связано с расширением использования автоматизированных производственных линий, развитием цифрового производства и увеличением инвестиций в модернизацию промышленности. Наиболее высокие темпы роста характерны для сегмента оборудования с числовым программным управлением, что обусловлено ужесточением требований к точности, производительности и интеграции в цифровую производственную среду. По оценкам, в 2024 г. объем данного рынка составил около 663 млн долл. США, а к 2032 г. может достичь 880 млн долл. США при среднегодовом темпе роста порядка 3,6%. При этом наиболее динамично развивается сегмент станков плазменной резки с ЧПУ: в 2025 г. его объем превысил 706 млн долл. США, а к 2035 г. ожидается рост до 1,25 млрд долл. США, что напрямую связано с дальнейшей автоматизацией и распространением концепции «Индустрия 4.0» [3, 4].

Наибольшая концентрация производства и потребления оборудования сохраняется в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, где активно развиваются машиностроение, автомобилестроение и металлообработка. Существенная часть мирового спроса приходится на предприятия автомобильной промышленности, использующие технологии плазменной резки при изготовлении деталей и металлоконструкций, его объем исчисляется сотнями миллиардов рублей, а ожидаемый рост в 2025 г. составляет порядка 5–10% за счет внедрения цифровых технологий и автоматизации производственных процессов [5].

Российский рынок оборудования для резки и сварки металлов также развивается под влиянием процессов модернизации промышленности, цифровой трансформации производства и реализации политики импортозамещения. Повышение спроса на отечественные технологические решения создает дополнительные возможности для российских производителей оборудования плазменной резки. В этих условиях конкурентоспособность предприятий определяется не только техническими характеристиками выпускаемой продукции, но и способностью обеспечивать полный цикл сопровождения оборудования, включая его внедрение, сервисное обслуживание и последующую модернизацию. По данным отраслевой аналитики, объем рынка станков в России в 2024 г. составил около 433 млрд руб., что свидетельствует о значительном масштабе и высокой роли металлообрабатывающего оборудования в промышленности [6].

Ключевые параметры развития мирового и российского рынков оборудования плазменной резки и металлообрабатывающих станков представлены в табл. 2.

Рынок характеризуется следующими особенностями [7]:

– высокой зависимостью от импортных поставок оборудования;
– значительной капиталоемкостью производства;
– высокой чувствительностью к макроэкономическим колебаниям;
– активной ролью государства в развитии отрасли.

В количественном выражении рынок также характеризуется значительными объемами продаж. Так, по данным исследования BusinesStat, в 2025 г. в России было реализовано около 54 тыс. металлообрабатывающих станков, что на 13% меньше по сравнению с предыдущим годом. При этом в 2023 г. рынок достиг пикового значения – 65 тыс. единиц, после чего началось его постепенное снижение.

Таблица 2

Основные характеристики мирового и российского рынков оборудования плазменной резки и металлообрабатывающих станков

Показатель	Мировой рынок оборудования плазменной резки	Российский рынок металлообрабатывающих станков (в т. ч. плазменной резки)
Объём рынка	663 млн долл. США в 2024 г.; прогноз 880 млн долл. США к 2032 г.	Около 433 млрд руб. в 2024 г.
Среднегодовой темп роста	Около 3,6% до 2032 г.	Оценочно 5–10% в 2025 г. за счёт цифровизации и автоматизации
Сегмент ЧПУ-станков	706 млн долл. США в 2025 г.; прогноз 1,25 млрд долл. США к 2035 г.	Быстрый рост спроса на ЧПУ-оборудование в рамках программ модернизации
Ключевые регионы	Лидирующая роль Азиатско-Тихоокеанского региона	Доминирование поставок из Китая, постепенный рост доли отечественных производителей
Основные потребители	Машиностроение, автомобилестроение, металлообработка; доля автопрома > 40%	Машиностроение, металлургия, строительство, предприятия с высокой долей листовой металлообработки
Доля импорта	–	Около 98% закупок приходилось на импортное оборудование в 2024 г.
Динамика продаж	Устойчивый рост, акцент на автоматизации и «Индустрии 4.0»	Волнообразная динамика: пик 65 тыс. станков в 2023 г., снижение до ~54 тыс. станков в 2025 г.

За последние годы динамика рынка носит волнообразный характер. В 2021–2023 гг. отмечался заметный подъём, связанный с повышенным спросом на фоне санкционных ограничений и ускоренной модернизации производственных мощностей. Начиная с 2024–2025 гг. рынок перешёл в фазу коррекции: темпы роста замедлились под влиянием насыщения спроса, удорожания оборудования и осложнения логистики поставок [8].

Характерной особенностью российского рынка остаётся высокая зависимость от импортной техники. По оценкам отраслевых исследований, в 2024 г. доля зарубежных станков в структуре закупок достигала порядка 98%, что указывает на существенный технологический разрыв и сохраняющуюся зависимость от внешних поставщиков.

Одновременно усиливаются процессы переориентации импортных потоков: снижение поставок из европейских стран частично компенсируется ростом поставок из Китая и постепенным наращиванием отечественного производства. За период 2020–2024 гг. объем производства металлообрабатывающих станков в России увеличился более чем в два раза – с 5,3 до 11,36 тыс. единиц.

Наблюдаемая динамика указывает на активизацию отечественного станкостроения и постепенное расширение производства в рамках политики импортозамещения. В то же время российский рынок по-прежнему существенно зависит от зарубежных технологий, комплектующих и оборудования, прежде всего китайского происхождения. Несмотря на рост внутреннего выпуска, импорт сохраняет значительную долю, что во многом определяет специфику конкурентной среды и задает вектор дальнейшего развития отрасли.

Для производителей оборудования плазменной резки важны не только характеристики самой продукции, но и уровень организации сервисного сопровождения. Надежность технической поддержки напрямую влияет на эффективность эксплуатации оборудования: простои приводят к снижению производительности и росту издержек у потребителей. В этих условиях возрастает значение удаленной диагностики, оперативного обеспечения расходными материалами и запасными частями, а также качественного обучения персонала. С учетом ограниченного доступа к ряду зарубежных компонентов развитие собственной сервисной инфраструктуры становится одним из ключевых факторов укрепления конкурентных позиций отечественных производителей [10].

Современный этап развития отрасли связан с необходимостью решения ряда системных задач. Среди них – технологическая модернизация производственных мощностей, обеспечение предприятий квалифицированными кадрами, ускоренное внедрение цифровых решений и повышение экологической эффективности производства [11]. Одновременно усиливается ценовое давление со стороны зарубежных поставщиков, прежде всего китайских компаний, что побуждает отечественные предприятия искать дополнительные источники конкурентных преимуществ [12]. В результате все более широкое распространение получают решения в области цифрового производства: системы мониторинга состояния оборудования, технологии прогнозирования износа ключевых узлов, а также интеграция станков в единую цифровую среду.

Выводы

Представим схематично на рис. 1 внутренние и внешние факторы конкурентоспособности предприятий, производящих оборудование плазменной резки.



Источник: составлено авторами.

Рис. 1. Факторы конкурентоспособности предприятий, производящих оборудование плазменной резки

Таким образом, конкурентоспособность предприятий, осуществляющих производство оборудования плазменной резки, определяется совокупностью внутренних и внешних факторов. К внутренним факторам относятся уровень технологического развития, качество

и надежность продукции, степень автоматизации, квалификация персонала и эффективность управления. К внешним факторам относятся спрос, уровень конкуренции, государственная промышленная политика, доступ к комплектующим и макроэкономические условия.

Выявленные внутренние и внешние факторы позволяют перейти от их качественной характеристики к формированию инструмента комплексной оценки конкурентоспособности производителей оборудования плазменной резки. Для обеспечения сопоставимости результатов и определения наиболее значимых направлений повышения конкурентоспособности предложена авторская матрица оценки, основанная на системе взвешенных критериев. Матрица объединяет технологические, экономические, сервисные, инновационные и рыночные характеристики предприятия и может использоваться при сравнительном анализе производителей оборудования, а также при разработке мероприятий по повышению их конкурентоспособности (табл. 3).

Таблица 3

Матрица оценки конкурентоспособности производителей оборудования плазменной резки

Группа факторов	Критерий оценки	Вес, %	Шкала оценки
Технологические	Точность резки	10	1–5
	Производительность оборудования	8	1–5
	Диапазон толщин обрабатываемого металла	7	1–5
	Уровень автоматизации и ЧПУ	10	1–5
Экономические	Цена оборудования	10	1–5
	Совокупная стоимость владения	8	1–5
	Энергоэффективность	5	1–5
Сервисные	Гарантийное обслуживание	8	1–5
	Наличие сервисных центров	7	1–5
	Доступность запасных частей	7	1–5
Инновационные	Использование цифровых технологий (Industry 4.0)	8	1–5
	Возможность интеграции с CAD/CAM и ERP	7	1–5
Рыночные	Репутация производителя	7	1–5
	Гибкость конфигурации оборудования	8	1–5
Итого	Интегральный индекс конкурентоспособности	100	0–5

Представленная матрица позволяет количественно оценить уровень конкурентоспособности предприятия на основе интегрального показателя, учитывающего различную значимость отдельных критериев. Для расчета итоговой оценки предлагается использовать взвешенную сумму экспертных оценок по каждому критерию.

Предлагается использовать следующую формулу:

$$I_k = \sum_{i=1}^{n} \frac{B_i \times O_i}{100}$$

где I_k – интегральный индекс конкурентоспособности; B_i – вес i-го критерия, %; O_i – экспертная оценка критерия по пятибалльной шкале.

Методика основана на принципах многокритериальной оценки конкурентоспособности, при которой каждому критерию присваивается вес в зависимости от его значимости, а итоговая оценка рассчитывается как взвешенная сумма показателей (табл. 4).

Таблица 4

Шкала интерпретации интегрального индекса конкурентоспособности

Интегральный индекс	Уровень конкурентоспособности
4,5–5	Очень высокий
3,8–4,49	Высокий
3–3,79	Средний
2–2,99	Низкий
менее 2	Критически низкий

Таким образом, научная новизна исследования заключается в разработке авторской матрицы комплексной оценки конкурентоспособности производителей оборудования плазменной резки, учитывающей отраслевую специфику, уровень цифровизации производства и сервисную составляющую.

Предложенная матрица оценки может использоваться при анализе конкурентоспособности предприятий, производящих оборудование плазменной резки, а также при обосновании управленческих решений в области модернизации производства, развития сервисной инфраструктуры и цифровой трансформации предприятий машиностроения. Перспективы дальнейших исследований связаны с апробацией разработанной методики на материалах российских производителей оборудования плазменной резки.

Список литературы

1. Штанговец, Е. С. Перспективы использования плазменной резки в России / Е. С. Штанговец // Научно-технический журнал. – 2014. [Электронный ресурс] – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-plazmennoy-rezki-v-rossii (дата обращения: 01.07.2026).

2. Суслов, А. Г. Технология машиностроения / А. Г. Суслов. – Москва : Академия, 2026. – 400 с.

3. Размер рынка плазменных резаков, рост и прогноз до 2032 года. [Электронный ресурс] Strategic Advisory & Market Leadership | Credence Research Inc. – URL: https://www.credenceresearch.com/ru/report/plasma-cutting-machines-market-ru (дата обращения: 01.04.2026).

4. Рынок станков плазменной резки с ЧПУ Размер и доля 2026-2035. [Электронный ресурс] Global Market Insights Inc. | практические данные для разумных бизнес-решений – URL: https://www.gminsights.com/ru/industry-analysis/cnc-plasma-cutting-machines-market (дата обращения: 01.04.2026).

5. Plasma Cutting Machine Market Analysis 2026. [Электронный ресурс] Cognitive Market Research and Consulting | End to End Market Research Services – URL: https://www.cognitivemarketresearch.com/plasma-cutting-machine-market-report (дата обращения: 01.04.2026).

6. Анализ рынка металлообрабатывающих станков в России в 2021-2025 гг., прогноз на 2026-2030 гг. [Электронный ресурс] РБК Магазин исследований. – URL: https://marketing.rbc.ru/research/issue/36711/ (дата обращения: 01.07.2026).

7. В 2024-2025 гг. продажи металлообрабатывающих станков в России сократились на 18% до 54 тыс шт. [Электронный ресурс] РБК Магазин исследований. – URL: https://marketing.rbc.ru/articles/16440/ (дата обращения: 01.07.2026).

8. Предприятия РФ пока заняли только 2% рынка станков. [Электронный ресурс] Станки-Экспо – международная онлайн-выставка промышленных товаров и услуг. – URL: https://stanki-expo.ru/novosti/tpost/y0pm01xkv1-predpriyatiya-rf-poka-zanyali-tolko-2-ri (дата обращения: 01.07.2026).

9. Российские предприятия пока заняли только 2% рынка станков и оборудования. [Электронный ресурс] «Ведомости» – ведущее деловое издание России. – URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2025/04/22/1105798-rossiiskie-predpriyatiya-zanyali (дата обращения: 01.07.2026).

10. Костюченко, С. Б. Роль станкостроения в современной экономике и его влияние на различные отрасли и производственные процессы / С. Б. Костюченко // Экономика и социум: современные модели развития. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 177–194.

11. Управление конкурентоспособностью : учебник для вузов / под ред. Е. А. Горбашко, И. А. Максимцева. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 427 с. – (Высшее образование). [Электронный ресурс] – URL: https://urait.ru/bcode/582785 (дата обращения 16.06.2026).

12. Лола, И. С. Тенденции импортозамещения в промышленности в 2023-2024 гг. / И. С. Лола. – Москва : НИУ ВШЭ, 2024. – 8 с.

УДК 004.8:004.93

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ В АРАБСКОЙ РЕЧИ

Борейк А.А., магистрант;
ORCID: 0009-0000-3947-1174;
E-mail: aaboraik@gmail.com;
Агафонов А.А., к.ф-м.н., доцент кафедры цифровой аналитики и технологий искусственного интеллекта Института информационных технологий и интеллектуальных систем ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: a.a.agathonov@gmail.com;
ORCID: 0000-0001-6924-6701

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURES FOR THE TASK OF EMOTION RECOGNITION IN ARABIC SPEECH

Boraik A.A., Master's student;
E-mail: aaboraik@gmail.com;
ORCID: 0009-0000-3947-1174;
Agathonov A.A., Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Digital Analytics and Artificial Intelligence Technologies, Institute of Information Technology and Intelligent Systems, «Kazan (Volga Region) Federal University», Kazan, Russia;
E-mail: a.a.agathonov@gmail.com;
ORCID: 0000-0001-6924-6701

Аннотация

В данной работе исследуется задача автоматического распознавания эмоционального состояния на основе аудиозаписей речи на арабском языке. Отмечается недостаточная разработанность методов и ограниченность размеченных данных для этого языка. Проводится сравнительный анализ различных архитектур нейронных сетей с целью выявления наиболее

эффективных подходов к распознаванию эмоций. Рассматриваются модели, использующие извлечённые акустические признаки, такие как CNN, BiLSTM и CLSTM, а также предобученные архитектуры Wav2Vec2 и HuBERT. Для экспериментов формируется база аудиоданных, включающая записи с разнообразными эмоциональными состояниями и диалектами арабского языка. Предобработка данных включает нормализацию, извлечение признаков и методы аугментации. Оценка моделей проводится с использованием метрик (Accuracy, Precision, Recall, F1), а также с учётом вычислительных характеристик – времени обучения, размера моделей и потребления памяти, что позволяет провести комплексный сравнительный анализ их эффективности.

Ключевые слова: распознавание эмоций, арабская речь, нейронные сети, обработка речи, классификация эмоций, машинное обучение

Abstract

In this paper, the problem of automatic recognition of an emotional state based on audio recordings of speech in Arabic is investigated. It is noted that the methods are insufficiently developed and the marked-up data is limited for this language. A comparative analysis of various neural network architectures has been carried out in order to identify the most effective approaches to emotion recognition. Models using extracted acoustic features such as CNN, BiLSTM, and CLSTM, as well as pre-trained Wav2Vec2 and HuBERT architectures, are considered. An audio database has been created for experiments, including recordings with various emotional states and dialects of the Arabic language. Data preprocessing includes normalization, feature extraction, and augmentation techniques. The models were evaluated using metrics (Accuracy, Precision, Recall F1), as well as taking into account the computational characteristics of training time, model size, and memory consumption, which made it possible to conduct a comprehensive comparative analysis of their effectiveness.

Keywords: Emotion recognition, Arabic speech, Neural networks, Deep learning, Speech processing, Audio signals, Emotion classification, Machine learning

В последние годы наблюдается впечатляющий прогресс в области технологий анализа речи и создания умных систем, которые могут обрабатывать и интерпретировать аудиосигналы [1]. Одним из самых многообещающих направлений в этой области стало автоматическое определение эмоционального состояния человека по его голосу. Такие системы находят применение в самых разных сферах, включая службы поддержки, дистанционное обучение, телемедицину и взаимодействие человека с машиной [2].

Распознавание эмоций в речи является непростой задачей, ведь эмоциональные сигналы проявляются через множество факторов, таких как интонация, тембр, ритм и другие акустические характеристики. Особенно сложно анализировать арабскую речь из-за её диалектного разнообразия, фонетических особенностей и нехватки размеченных аудиоданных. Поэтому разработка методов, которые обеспечивают эффективное распознавание эмоций в арабской речи, остается важной задачей для научного сообщества [3, 4].

Цель этой работы – провести сравнительный анализ различных архитектур нейронных сетей для распознавания эмоций в арабской речи. В рамках исследования рассматриваются как классические модели (CNN, BiLSTM, CLSTM), так и современные предобученные архитектуры (Wav2Vec2, HuBERT). Выбор моделей не является случайным в исследовании рассматриваются различные подходы, хорошо зарекомендовавшие себя в задачах обработки аудиосигналов и распознавания эмоций, включая сверточные, рекуррентные и предобученные архитектуры. Для достижения поставленной цели осуществляется подготовка и объединение аудиоданных, обучение моделей и оценка их эффективности по ряду метрик.

Предварительная обработка данных и описание набора данных

Одна из целей исследования заключалась в разработке базы данных аудиозаписей для определения эмоциональных выражений в разговорном арабском языке. База данных содер-

жит аудиозаписи различных эмоциональных состояний, включая радость, грусть, злость, страх, нейтральное состояние и удивление, анализируемый набор данных включает арабские диалекты из разных стран региона. Влияние диалектных особенностей арабской речи имеет критическое значение, так как одинаковые интонации могут по-разному интерпретироваться, что усложняет задачу распознавания эмоций и требует учёта диалектного разнообразия при разработке моделей. Общий объём датасета составляет 5 тыс. аудиофрагментов, собранных из размеченных и дополнительно аннотированных данных из открытых источников (рис. 1).

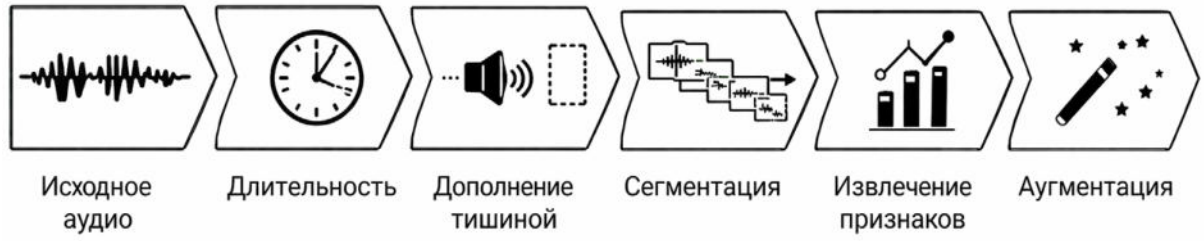


Рис. 1. Схема этапов предобработки

На рис. 2 представлены арабские диалекты в наборе данных. Явно выделяются на диаграмме египетский, бахрейнский, левантийский, саудовский и иорданский вариации.

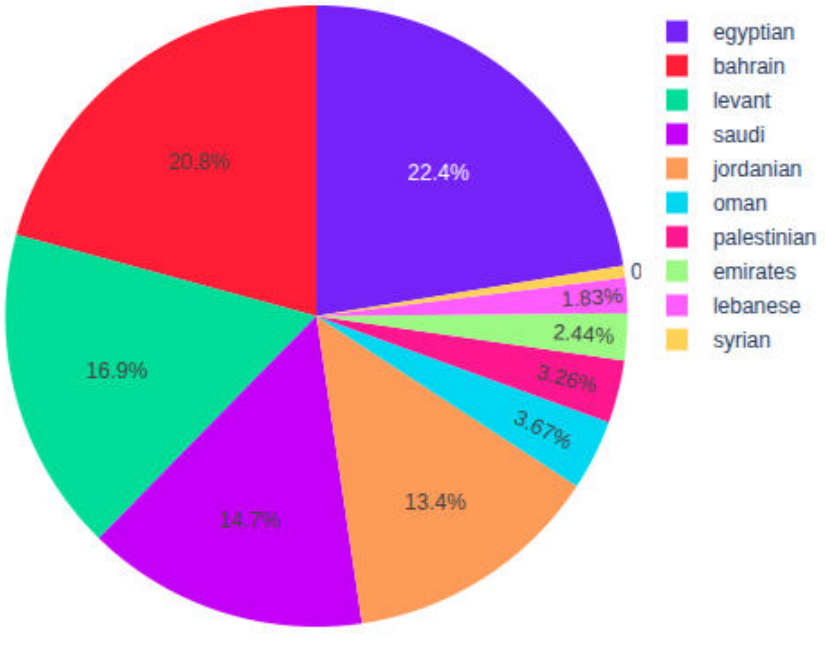


Рис. 2. Распределение арабских диалектов в наборе данных

Таким образом, рисунок дает наглядное представление о диалектной наполненности корпуса, позволяя оценить, насколько широко или слабо представлены варианты арабского языка в данных.

На первом этапе подготовки данных была произведена оценка продолжительности каждой аудиозаписи с использованием инструментов обработки аудиосигналов, определяющих длительность файла в секундах. Полученные значения фиксируются в столбце (duration), что позволяет анализировать распределение длительностей. В связи с различной продолжительностью аудиозаписей возникла необходимость их стандартизации. Установлено, что фрагменты длительностью 3 секунды обеспечивают оптимальное качество распознавания эмоций. Для всех экспериментов выбраны фрагменты по 3 секунды. Основные параметры набора данных представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики набора данных и извлекаемые признаки

Параметр	Значение	Описание
Количество аудиофрагментов	5000	Общий объём записей
Эмоциональные классы	6	Радость, грусть, злость, страх, нейтральное, удивление
Диалектное разнообразие	Несколько	Включены разные арабские акценты
Длительность сегмента	3 с	Базовая длина для обучения моделей
Обработка коротких и длинных записей	Доп. тишина / сегментация	Сохранение непрерывности сигнала
Методы	Белый шум, временной сдвиг	Повышение устойчивости моделей
Pitch, Spectral Centroid, ZCR, RMS	Средняя частота, яркость, шумность, громкость	Базовые признаки для анализа

Аудиофрагменты с продолжительностью менее 3 секунд дополняются тишиной в конце до достижения заданной длины. Более длинные записи подвергаются сегментации на несколько перекрывающихся фрагментов фиксированной длины. Последний сегмент при необходимости также дополняется тишиной. Для компактного представления речевых сигналов были извлечены MFCC-признаки (Mel-Frequency Cepstral Coefficients). MFCC используются в задачах распознавания речи и эмоционального спектра (рис. 3). Для повышения устойчивости моделей к шуму и снижения риска переобучения была выполнена аугментация данных. Применялись добавление белого шума, имитирующего реальные условия записи речи, и временной сдвиг сигнала, повышающий устойчивость к смещению начала речевого фрагмента. Эти методы расширяют вариативность обучающей выборки и улучшают обобщающую способность моделей [7].

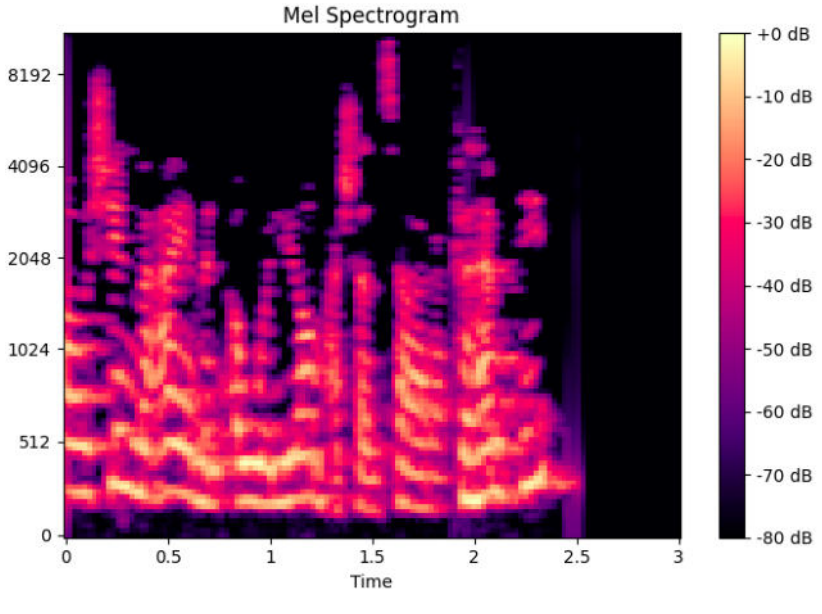


Рис. 3. Пример MFCC / спектрограммы

На завершающем этапе проводится анализ распределения классов эмоций в датасете, включающий оценку количества примеров для каждой категории и построение круговой диаграммы распределения. Таким образом, предварительная обработка данных формирует стандартизированный и информативный набор для дальнейшего обучения и сравнительного анализа нейронных сетей.

Описание используемых архитектур нейронных сетей

В данном разделе представлено описание архитектур нейронных сетей для задачи распознавания эмоций в арабской речи. Для сравнения рассматриваются как классические модели глубокого обучения на основе заранее извлечённых акустических признаков, так и предобученные модели, работающие с необработанным аудиосигналом.

Проанализированы архитектуры с варьированием числа слоёв, нейронов и параметров регуляризации. Путём эмпирического подбора определялись оптимальные конфигурации с различной глубиной и шириной слоёв, а также гиперпараметрами, включая размер скрытого состояния, число фильтров и коэффициент отсева. Результаты экспериментов показывают, что увеличение глубины и числа параметров не приводит к значительному улучшению качества, но увеличивает время обучения и риск переобучения. Поэтому для дальнейших экспериментов используются оптимальные архитектуры, отобранные для задачи распознавания эмоций в речевом сигнале. Ниже представлены рассматриваемые модели.

1. CNN (сверточные нейронные сети)

Сверточные нейронные сети широко применяются в задачах обработки аудиосигналов, поскольку позволяют извлекать локальные закономерности и устойчивые временные признаки. Акустические характеристики предварительно преобразуются в одномерные последовательности фиксированной длины и используются как входные данные модели.

В данном исследовании используется архитектура, состоящая из последовательных одномерных сверточных слоёв (1D Conv), предназначенных для извлечения временных признаков речевого сигнала (рис. 4). Первый сверточный слой содержит 256 фильтров с размером ядра 5 и применяет активацию ReLU. Второй слой включает 128 фильтров и использует L1/L2-регуляризацию для снижения переобучения. Далее применяется слой Dropout (0.1), уменьшающий зависимость модели от отдельных признаков за счёт случайного отключения нейронов [8].

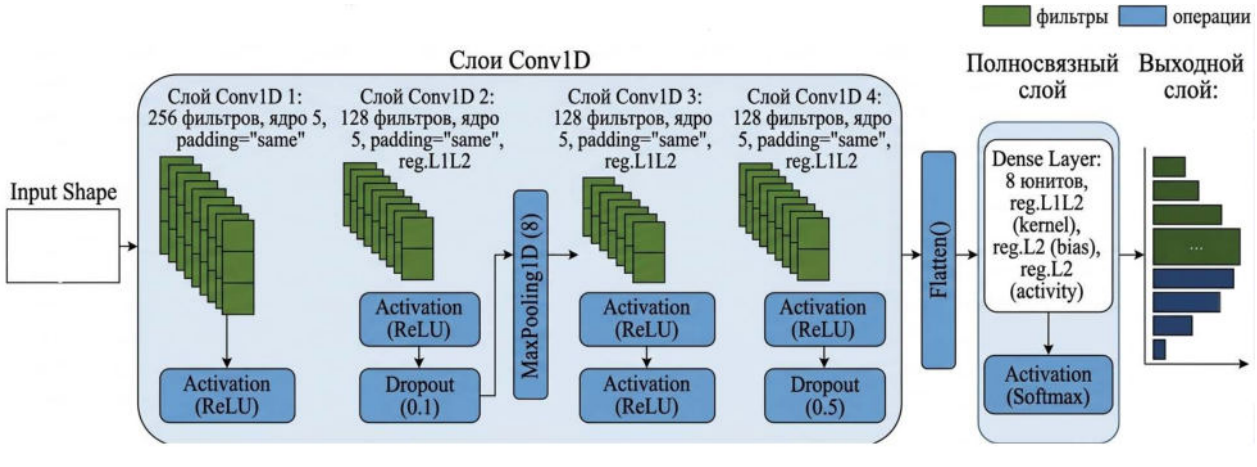


Рис. 4. Архитектура сверточные нейронные сети (CNN)

Далее добавляется слой MaxPooling1D с размером окна 6, уменьшающий размерность признаков. После этого применяются ещё два слоя Conv1D (по 128 фильтров), что позволяет формировать более высокоуровневые представления аудиосигнала.

Перед выходным слоем используется Dropout (0,5) для снижения переобучения. Далее признаки преобразуются в вектор с помощью Flatten. Финальный Dense-слой содержит

6 нейронов, соответствующих классам эмоций, с активацией softmax. Оптимизация модели выполняется с использованием Adam (learning rate 0,001) и разреженной категориальной кросс-энтропии. Обучение проводится в течение 60 эпох при batch size 64. Основные параметры представлены в табл. 2.

2. Двунаправленная LSTM с механизмом внимания (BiLSTM + Attention)

Используется рекуррентная нейронная сеть, основанная на двунаправленной архитектуре долговременной кратковременной памяти (BiLSTM) и механизме внимания, для захвата временной взаимосвязи между речевыми сигналами. Архитектура модели позволяет эффективно анализировать последовательную информацию, поэтому при анализе акустических характеристик речи учитываются как предыдущие, так и последующие события (рис. 5).

Входные данные представлены временными последовательностями из 195 шагов, где каждый шаг содержит одно значение акустического признака. Для корректной работы рекуррентных слоёв данные преобразуются в трёхмерный формат:

(batch, timesteps, features)

Модель включает три двунаправленных LSTM-слоя с 128, 64 и 32 блоками, что позволяет извлекать зависимости на разных уровнях. После каждого слоя применяется Batch Normalization, а также Dropout (0,3) для снижения переобучения. обучение выполняется с использованием Adam (lr=0,001), в течение 60 эпох при batch size 64. Использование весов классов обеспечивает баланс между классами, функции ReduceLROnPlateau, EarlyStopping и ModelCheckpoint используются для снижения скорости обучения, предотвращения переобучения и сохранения наилучшей версии модели, основные параметры модели представлены в табл. 2.

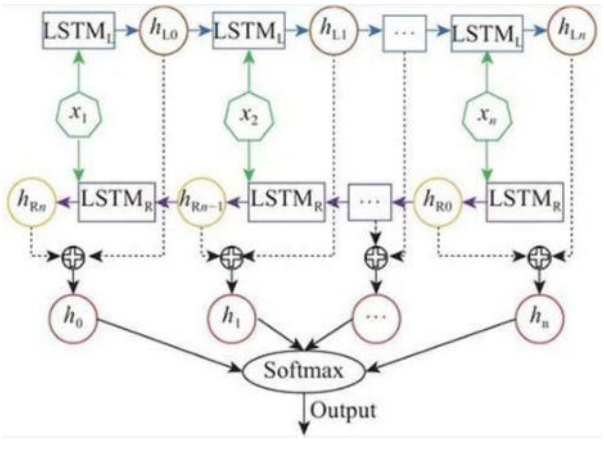


Рис. 5. Архитектура модели BiLSTM с механизмом внимания

3. Гибридная сверточно-рекуррентная нейронная сеть (CLSTM)

Чтобы лучше распознавать эмоции в арабской речи, применяется гибридная нейронная сеть CLSTM , которая сочетает в себе сильные стороны сверточных и рекуррентных архитектур. Данная модель объединяет преимущества обоих типов сетей: сверточные слои хорошо справляются с выделением локальных спектрально-временных особенностей, архитектура модели представлена на рис. 6.

Прежде чем передать данные в модель, входные признаки преобразуются в трёхмерную форму:

(batch, timesteps, features),

где *batch* показывает, сколько примеров содержится в одном пакете, *timesteps* (равное 195) – длина временной последовательности, а *features* – число признаков для каждого временного

шага. Такой способ представления позволяет сверточным и рекуррентным слоям правильно обрабатывать последовательные данные. Применяются три слоя Conv1D, идущих один за другим. В первом сверточном слое было 1024 фильтра с ядром размера 5. Следом используется MaxPooling1D с окном размером 2. Затем применяется Batch Normalization с коэффициентом 0.3. После этого добавляются ещё два сверточных слоя с 512 и 256 фильтрами соответственно.

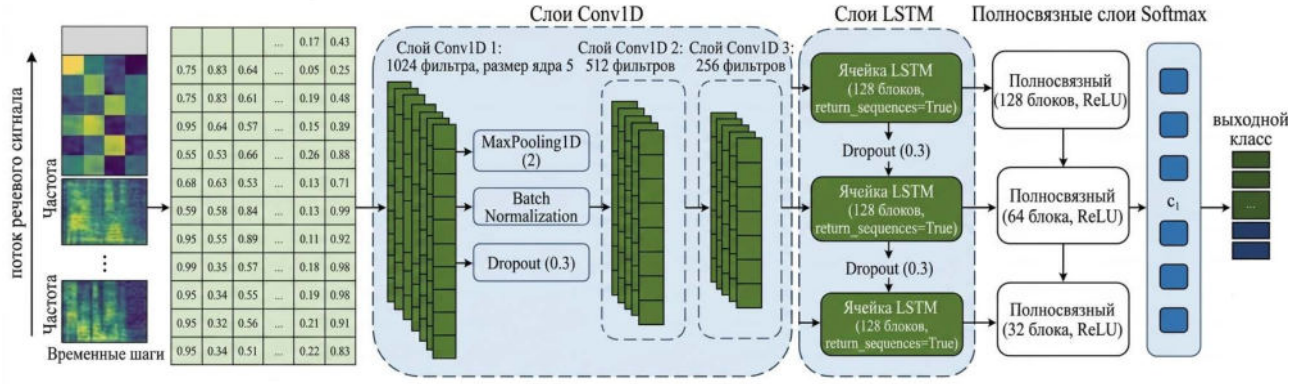


Рис. 6. Архитектура CLSTM

После того как сверточные слои извлекают необходимые признаки, эти данные поступают в рекуррентную часть модели. Она состоит из трёх LSTM-слоёв, в каждом из которых по 128 нейронов.

Таблица 2

Основные параметры архитектур моделей CNN, BiLSTM и CLSTM

Параметр	CNN	BiLSTM	CLSTM
Вход	Одномерная последовательность признаков	(195, 1)	(195, 1)
Conv1D	256 фильтров, kernel = 5	256 фильтров, kernel = 5	1024 → 512 → 256 (kernel = 5)
Conv1D (доп.)	128 фильтров (несколько слоёв)	128 фильтров, kernel = 5	128 фильтров
LSTM	–	128 → 64 → 32	128 → 128 → 128
Pooling	MaxPooling1D (8)	–	Pooling = 2
Dropout	0.1, 0.5	0.3	–
Attention	–	Bahdanau-style	–
Dense	6 нейронов	128 → 64	128 → 64 → 32
Выход	Softmax (6 классов)	6 классов	6 классов
Optimizer	Adam	Adam	Adam
Loss	–	CrossEntropy	CrossEntropy
Epochs	60	60	60
Batch size	64	64	64

Предобученная модель HuBERT

Используется предобученная модель HuBERT. Модель разработана для обработки речевых сигналов и решения задач классификации аудио. HuBERT относится к классу self-supervised моделей. Её ключевое преимущество заключается в эффективном извлечении вы-

сокоуровневых представлений аудиосигнала, что устраняет необходимость ручного выделения признаков, таких как MFCC или спектральные характеристики.

В модель поступает необработанный аудиосигнал, что является одним из основных преимуществ HuBERT по сравнению с традиционными методами. Для единообразия все аудиозаписи приводятся к частоте дискретизации 16 000 Гц. Каждый речевой фрагмент ограничивается тремя секундами. Для предварительной обработки входных данных используется Wav2Vec2FeatureExtractor.

Применяется предобученная модель hubert-large-ls960-ft. Изначально она обучена на обширном корпусе речевых данных, затем дообучена для задачи классификации эмоций. Модель способна автоматически выделять из сигнала скрытые акустические характеристики и преобразовывать их в высокоуровневые признаки, которые направляются в классификационный слой. Последний выходной слой настроен для многоклассовой классификации и включает 6 нейронов, что соответствует количеству эмоциональных классов. В качестве функции активации используется Softmax. Обучение выполняется с использованием оптимизатора AdamW при скорости обучения 1e-5 и размере батча 16. Процесс включает 30 эпох. Вычислительная часть обучения выполняется на GPU, основные параметры приведены в таблице 3.

Предобученная модель Wav2Vec2

Модель Wav2Vec2, предназначенная для работы с речевыми сигналами и использующая сырые аудиоданные, была использована для сравнительного анализа современных self-supervised архитектур. Wav2Vec2 – предобученная трансформерная архитектура, автоматически извлекающая информативные представления из речевого сигнала без ручного извлечения акустических признаков. В основе подхода лежит обучение представлений на больших неразмеченных корпусах данных, что позволяет эффективно захватывать локальные и глобальные зависимости во временной структуре речи. Это обеспечивает устойчивость к вариативности акустических условий и повышает обобщающую способность модели при решении задач классификации эмоций. Использование Wav2Vec2 направлено на оценку эффективности self-supervised подходов в сравнении с классическими методами. Модель принимала на вход сырой аудиосигнал, который приводится к общему формату: все фрагменты ресемплируются до частоты 16 000 Гц, длина сигнала фиксируется на три секунды архитектура модели представлена на рис. 7.

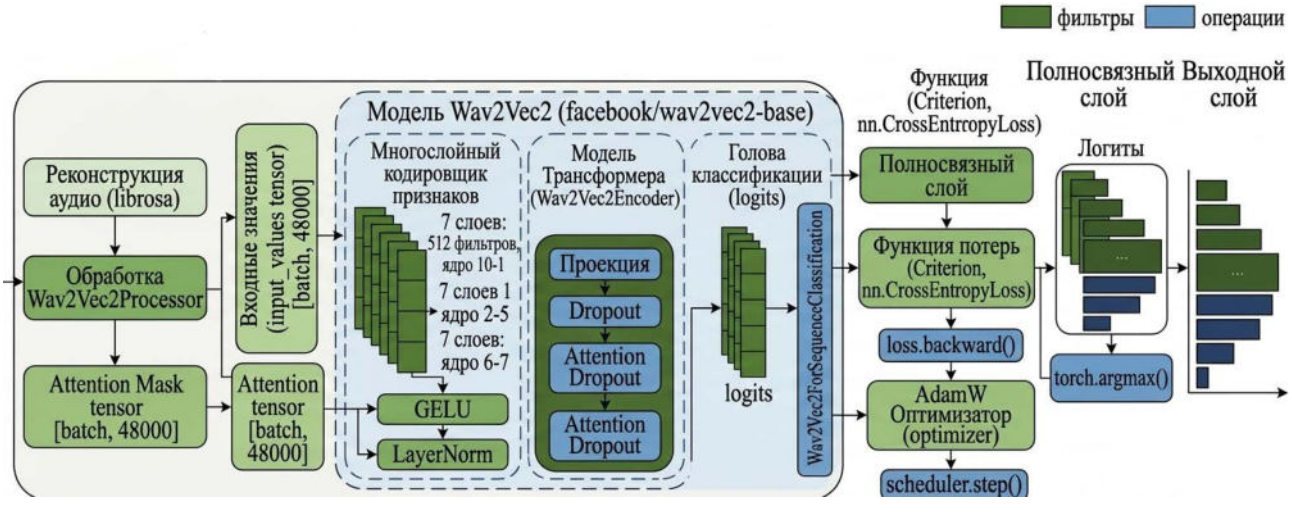


Рис. 7. Архитектура Wav2Vec2

Добавляются белый шум и временной сдвиг сигнала – такие приёмы увеличивают разнообразие обучающей выборки и помогают модели лучше обобщать данные, основные параметры приведены в таблице 3.

Таблица 3

Основные параметры предобученных моделей HuBERT и Wav2Vec2

Параметр	HuBERT	Wav2Vec2
Вход	Raw audio	Raw audio
Предобученная модель / Checkpoint	hubert-large-ls960-ft	facebook/wav2vec2-base
Feature extractor	Wav2Vec2FeatureExtractor	Wav2Vec2FeatureExtractor
Частота	16 кГц	16 кГц
Conv1D / архитектурные особенности	128 фильтров, kernel = 5	–
Dropout	–	0.3
Attention dropout	–	0.3
Dense	6	6
Выход	6 классов	6 классов
Функция активации	Softmax	Softmax
Optimizer	AdamW	AdamW
Устройство обучения	GPU	GPU
Learning rate	1.00E-05	–
Epochs	30	30

Результаты и сравнительный анализ

Настоящий раздел посвящён результатам сравнительного анализа архитектур нейронных сетей для распознавания эмоций в арабской речи. Оценка их эффективности основывается на сочетании качественных классификационных метрик и вычислительных характеристик. К качественным метрикам относятся точность классификации (Accuracy), точность предсказаний (Precision), полнота (Recall) и F1-мера. Вычислительная эффективность анализируется по времени обучения в секундах, размеру модели и объёму оперативной памяти в мегабайтах [13]. Такой подход позволяет оценить модели, учитывая качество распознавания и потенциал их практического применения в условиях ресурсных ограничений. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Сравнительные результаты моделей

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1	Time	Size	Ram	Parameters
CNN	0.9130	0.9152	0.9130	0.9133	300.0146	6.1075	406.9609	1.06M
BiLSTM	0.8166	0.8141	0.7966	0.8060	417.8259	4.4653	30.0703	0.36M
CLSTM	0.8027	0.8079	0.8027	0.8028	433.6556	43.3143	36.1210	11.33M
Wav2Vec2	0.6211	0.6264	0.6181	0.6202	3448.3075	360.8403	671.5273	194.57M
HuBERT	0.8231	0.8223	0.7912	0.7911	2965.3167	1204.4749	561.8085	315.70M

Табл. 4 демонстрирует, что модель CNN достигает наилучших значений основных метрик. Это указывает на высокую эффективность сверточной архитектуры для извлечения локальных акустических признаков, связанных с эмоциональным состоянием речи (рис. 8).

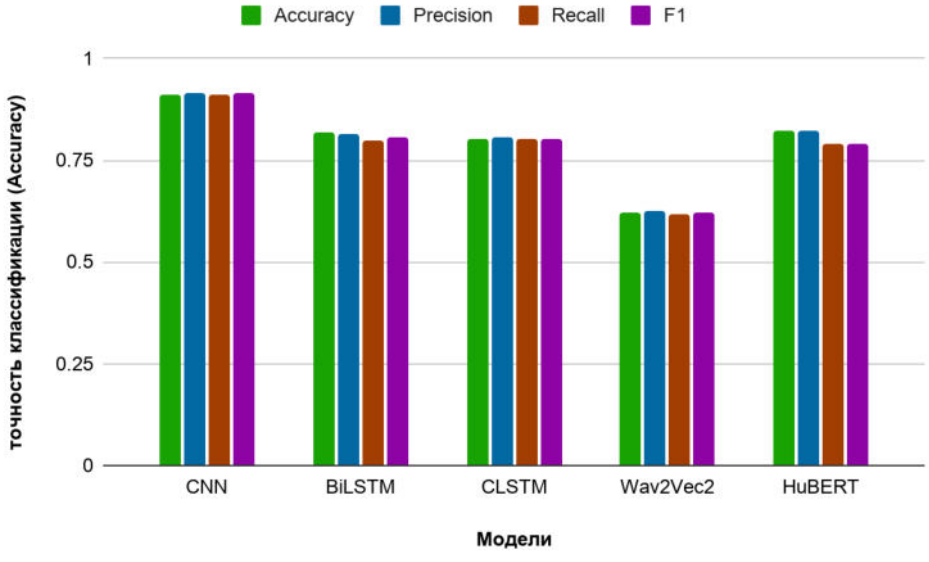


Рис. 8. Сравнение моделей по точности классификации

Заключение

В работе проведён сравнительный анализ архитектур нейронных сетей для распознавания эмоций в арабской речи. Интерес к задаче обусловлен слабой изученностью арабского языка в этой сфере, его диалектным разнообразием и дефицитом размеченных аудиоданных.

В экспериментальной части протестированы архитектуры: CNN, BiLSTM, CLSTM, Wav2Vec2 и HuBERT. Сравнение проводилось по метрикам качества, времени обучения, размеру моделей и потреблению RAM. Лучшее качество показала модель CNN (точность – 0,9131, F1-мера – 0,9134), однако это превосходство относится только к рассматриваемому набору данных. Увеличение количества параметров не гарантирует повышения качества: CNN с 1,06 млн параметров показала лучшие результаты, тогда как крупные HuBERT и Wav2Vec2 требуют больше ресурсов без существенного прироста точности.

На ограниченном наборе данных для распознавания эмоций в арабской речи свёрточные нейронные сети (CNN) являются наиболее практичным решением. Следует отметить, что превосходство CNN-модели относится только к рассматриваемому набору данных и условиям обучения. Результаты применимы в поддержке пользователей, дистанционном обучении и голосовых интерфейсах. В дальнейшем целесообразно расширить датасет за счёт арабских диалектов, а также опробовать гибридные архитектуры и методы transfer learning для проверки качества на более разнообразных данных.

Список литературы

1. Alhussein G., Ziogas I., Saleem S., Hadjileontiadis L. J. Speech emotion recognition in conversations using artificial intelligence: a systematic review and meta-analysis // Artificial Intelligence Review. – 2025. – Т. 58. Art. № 198. – URL: https://doi.org/10.1007/s10462-025-11197-8.

2. Al-Hawari M., Al-Azzeh M., Aljarah I. Speech emotion recognition approaches: A systematic review // Speech Communication. – 2023. – Т. 154. Art. № 102974. – URL: https://doi.org/10.1016/j.specom.2023.102974.

3. Singh Y. B., Goel S. A systematic literature review of speech emotion recognition approaches // Neurocomputing. – 2022. – Т. 492. – С. 245–263. – URL: https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.04.028.

4. Богданова, Д. Р. Распознавание эмоций по речевому сигналу / Д. Р. Богданова, А. Т. Акушев // E-Scio. – 2021. – № 6 (57).

5. Лемаев, В. И. Автоматическая классификация эмоций в речи: методы и данные / В. И. Лемаев, Н. В. Лукашевич // Litera. 2024. № 4. – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=70472.

6. Little Flower T. M., Jaya T., Singh S. C. E. Data augmentation using a 1D-CNN model with MFCC/MFMC features for speech emotion recognition // Automatika. – 2024. – Т. 65, № 4. – С. 1325–1338.

7. Poorna S. S., Menon V., Sundararaman G. Hybrid CNN-BiLSTM architecture with multiple attention mechanisms to enhance speech emotion recognition // Biomedical Signal Processing and Control. 2025. Т. 100. – URL: https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.106712.

8. Poorna S. S., Menon V., Sundararaman G. Hybrid CNN-BiLSTM architecture with multiple attention mechanisms to enhance speech emotion recognition // Biomedical Signal Processing and Control. – 2025. – Т. 100. – URL: https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.106712

УДК 621.315.62

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРАХ

Вагапов А.И., преподаватель кафедры «Промышленная электроника»;
ORCID: 0009-0008-7126-2629;
E-mail: aydar.vagapoff@yandex.ru;
Иванов Д.А., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Промышленная электроника»;
ORCID: 0000-0003-1344-7453;
E-mail: divanale@gmail.com;
Яникаева К.Ю., инженер Инжинирингового центра «Компьютерное моделирование и инжиниринг в области энергетики и энергетического машиностроения» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
E-mail: ksuy.yanikaeva@mail.ru

INTELLIGENT MONITORING OF ACOUSTIC PARTIAL DISCHARGE SIGNALS IN HIGH-VOLTAGE INSULATORS

Vagapov A.I., Lecturer of the Industrial Electronics Department;
ORCID: 0009-0008-7126-2629;
E-mail: aydar.vagapoff@yandex.ru;
Ivanov D.A., Doctor of Engineering, associate professor, Head of the Industrial Electronics Department;
ORCID: 0000-0003-1344-7453;
E-mail: divanale@gmail.com;
Yanikaeva K.Yu., engineer at the Engineering Center «Computer Modeling and Engineering in the Field of Energy and Power Engineering», Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
E-mail: ksuy.yanikaeva@mail.ru

Аннотация

Акустический контроль высоковольтных изоляторов применяется для регистрации механических колебаний частичных разрядов без отключения оборудования, однако эксплуатационные записи часто содержат помехи, отражения и импульсы неразрядной природы. В статье рассмотрена организация ИИ-мониторинга: от проверки записей до выделения эпи-

зодов, расчета признаков и экспертного подтверждения результатов. Фазовая синхронизация используется для сопоставления зарегистрированных импульсов с периодом напряжения промышленной частоты. В описание события включаются время появления импульса и его положение относительно фазового интервала. В качестве классификатора рассматривается гибридная архитектура CNN (Convolutional Neural Network – сверточная нейронная сеть) и LSTM (Long Short-Term Memory – долгая краткосрочная память): сверточный блок анализирует частотно-временные представления эпизодов, а рекуррентный блок работает с последовательностью признаков. В программном комплексе PD Acoustic Workbench реализованы предварительный просмотр формы сигнала и спектра, контроль клиппинга и ультразвуковой энергии, пакетный журнал записей, каталог эпизодов, экспертная разметка и проверка модели-кандидата. Результаты обработки представлены через параметры качества записей, число событий, выделенные эпизоды, класс акустического события и уровень уверенности модели.

Ключевые слова: акустический контроль, высоковольтный изолятор, частичный разряд, искусственный интеллект, CNN, LSTM, фазовая синхронизация, экспертная разметка

Abstract

Acoustic monitoring of high-voltage insulators is used to record mechanical vibrations of partial discharges without shutting down the equipment. However, operational records often contain interference, reflections, and non-discharge pulses. This article examines the organization of AI monitoring: from validation of recordings to episode detection, feature calculation, and expert confirmation of results. Phase synchronization is used to match recorded pulses with the industrial frequency voltage period. The event description includes the pulse occurrence time and its position relative to the phase interval. A hybrid CNN–LSTM architecture is considered as a classifier: a convolutional block analyzes the time-frequency representations of episodes, and a recurrent block processes the feature sequence. The PD Acoustic Workbench software suite implements waveform and spectrum preview, clipping and ultrasonic energy control, a batch recording log, an episode catalog, expert labeling, and candidate model verification. The processing results are presented through recording quality parameters, the number of events, the selected episodes, the class of the acoustic event and the confidence level of the model.

Keywords: acoustic monitoring, high-voltage insulator, partial discharge, artificial intelligence, CNN, LSTM, phase synchronization, diagnostic feature, expert labelling

Введение

Работоспособность высоковольтной изоляции напрямую влияет на надежность электрических сетей. При развитии дефектов одним из контролируемых признаков выступает частичный разряд (ЧР), сопровождаемый электромагнитным, оптическим, тепловым и акустическим проявлениями. Нормированная электрическая регистрация ЧР ориентирована на измерение зарядовых параметров [1, 2]. Для оперативного обследования действующих объектов дополнительно применяется акустический контроль, позволяющий регистрировать механическое проявление разрядного процесса без непосредственного подключения к высоковольтной цепи.

Основная трудность акустического контроля связана с тем, что импульсы ЧР регистрируются на фоне производственных шумов, вибраций, ветровых помех и отражений от элементов конструкции. Отдельная осциллограмма в таких условиях не всегда дает достаточную информацию для уверенного вывода. Более устойчивое представление формируется при совместном использовании временных, спектральных и фазовых признаков. Фазово-разрешенный анализ акустической эмиссии позволяет соотносить импульсы с фазой напряжения и тем самым уточнять характер разрядной активности.

В задачах анализа ЧР активно применяются методы машинного и глубокого обучения: сверточные сети используются для распознавания фазовых распределений и спектрограмм

[3, 4], гибридные CNN–LSTM модели совмещают обработку частотно-временных паттернов с учетом последовательности событий [5-7].

1. Контур ИИ-мониторинга

ИИ-мониторинг рассматривается как последовательность операций, в которой акустическая запись проходит проверку качества, выделение эпизодов, расчет признаков, классификацию и экспертное подтверждение. Единицей анализа служит диагностический эпизод – ограниченный по времени фрагмент записи, содержащий одиночный импульс или группу импульсов, потенциально связанных с разрядной активностью [8].

Для каждого эпизода фиксируются время начала и окончания, амплитудные параметры, энергия в ультразвуковом диапазоне, спектральные признаки, фазовый интервал, класс события и уровень уверенности модели. Такая организация переводит обработку из режима просмотра отдельных осциллограмм в режим накопления базы наблюдений. Общая последовательность сбора данных, обработки и классификации представлена на рис. 1.

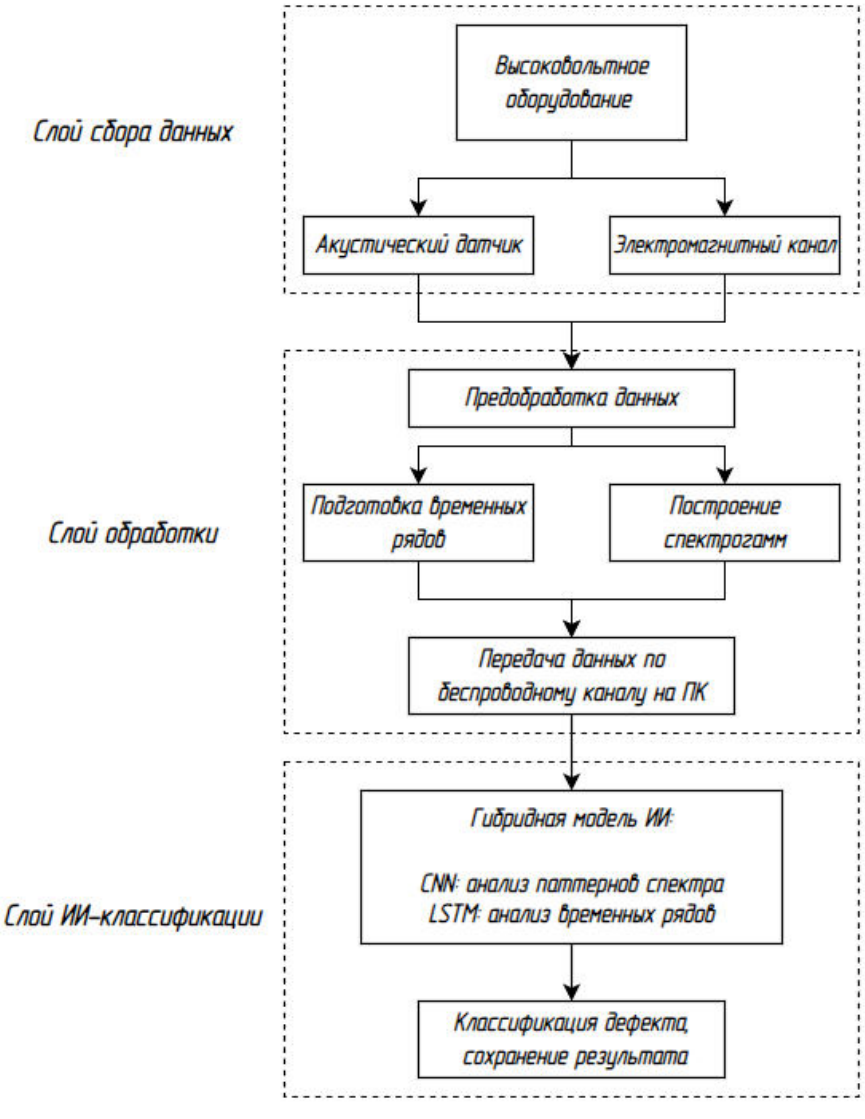


Рис. 1. Алгоритм работы диагностической системы при акустическом контроле

2. Контроль качества и формирование признаков

Начальный этап связан с подключением звуковых файлов и проверкой их структуры. Для каждой записи определяются формат, частота дискретизации, число отсчетов, количество каналов и длительность. Затем контролируются клиппинг, энергия в ультразвуковом диапазо-

не и устойчивость спектральной картины. Некорректные файлы отсеиваются до запуска классификатора, чтобы ошибки входных данных не переносились на последующие этапы анализа.

На рис. 2 приведен пример предварительного просмотра формы акустического сигнала и спектра мощности в программном комплексе PD Acoustic Workbench.

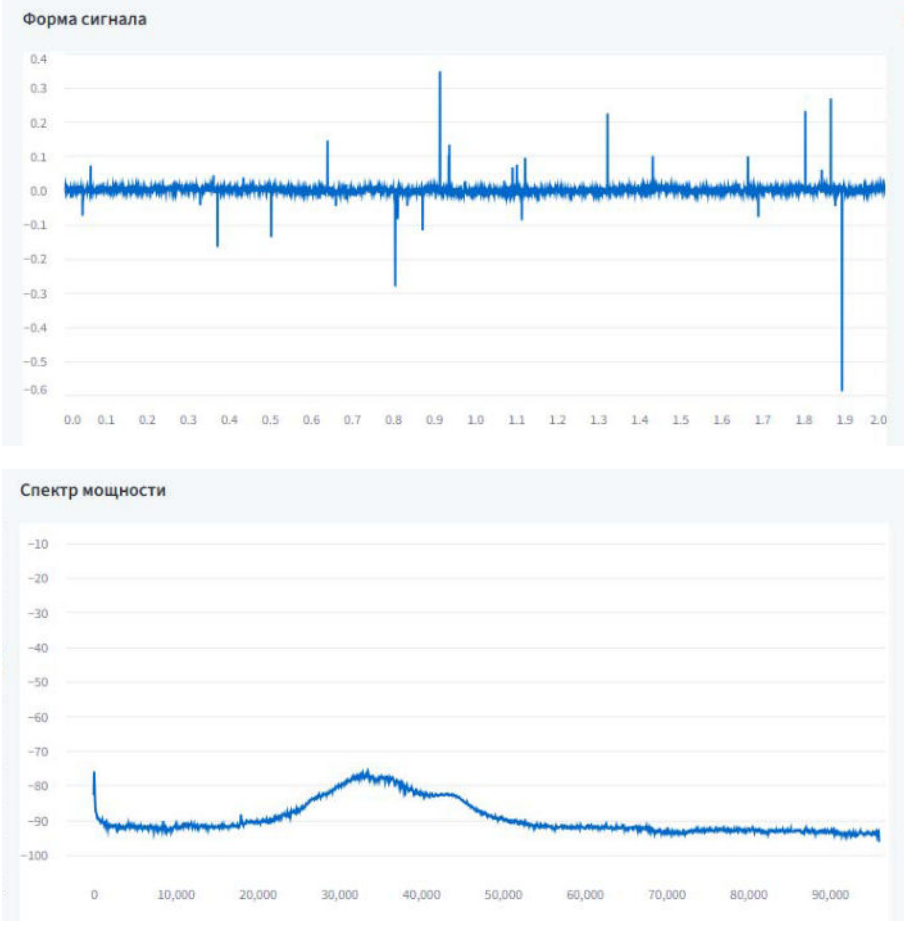


Рис. 2. Предварительный просмотр акустической записи и спектра мощности

Фазовая синхронизация вводится из-за связи ЧР с изменением электрического поля в течение периода напряжения. Поэтому акустический импульс описывается временем регистрации и положением в фазовом интервале. Для модели формируются три группы входных данных: временные признаки, спектральные признаки и фазовые признаки.

3. Гибридная архитектура CNN-LSTM

Выбор CNN-LSTM связан с двойственной природой акустической записи. Отдельный эпизод имеет частотно-временную структуру, а серия эпизодов отражает динамику разрядной активности. Поэтому в классификаторе объединяются сверточная нейронная сеть CNN и сеть долгой краткосрочной памяти LSTM.

Сверточный блок обрабатывает спектрограммы и выделяет локальные признаки: полосы частот, области повышенной энергии, характер затухания и повторяющиеся формы импульсов. LSTM-блок анализирует последовательность признаков и учитывает изменение событий во времени. После объединения признаков классификатор задает класс акустического события и уровень уверенности. Схема гибридной архитектуры представлена на рис. 3.

Для работы классификатора используется ограниченный набор классов диагностических акустических событий. Он включает классы разрядной активности, помеховый класс и неопределенный класс для эпизодов с недостаточной уверенностью модели. Пример структуры классов приведен в табл. 1.

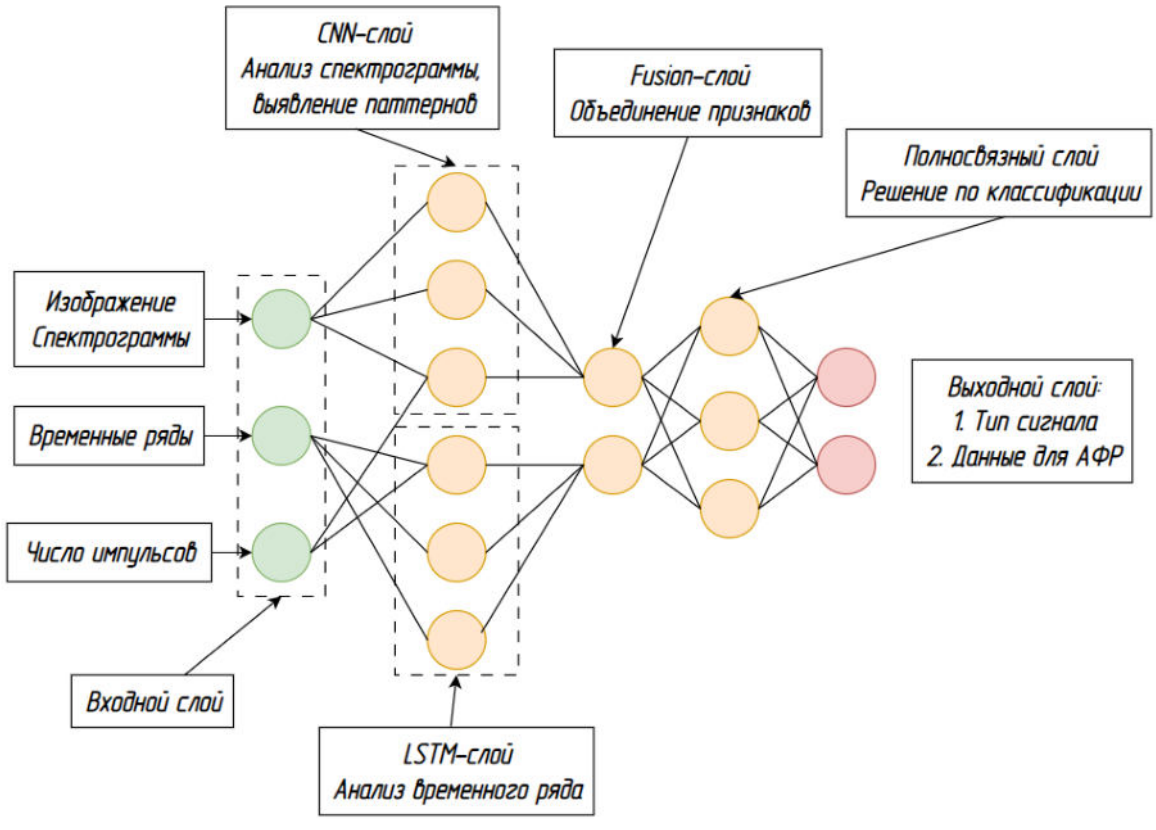


Рис. 3. Гибридная нейросетевая архитектура CNN–LSTM

Таблица 1

Пример классов диагностических акустических событий

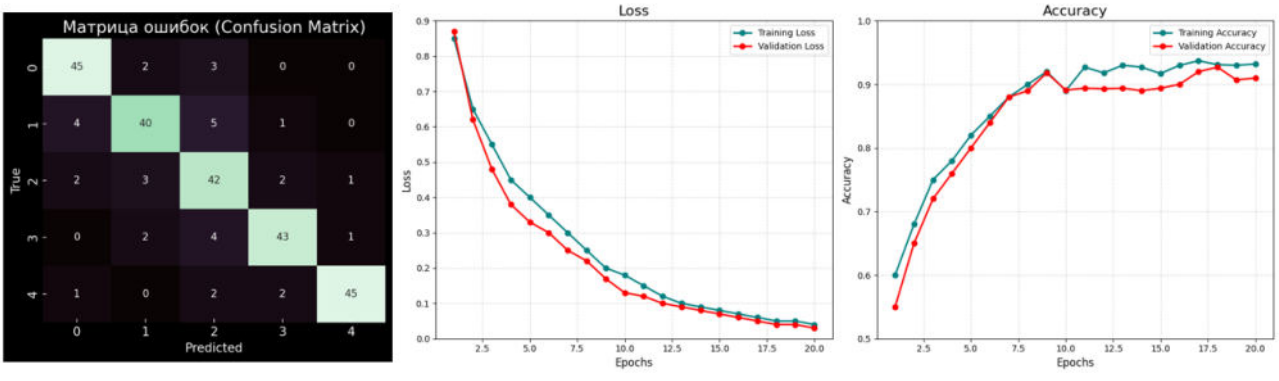
Класс	Смысл класса	Основной признак
surface	поверхностный разряд	импульсы в характерной фазовой области
corona	коронный разряд	серия повторяющихся импульсов
arcing	искровой эпизод	импульс повышенной энергии
interference	помеха	отсутствие устойчивой структуры ЧР
unknown	неопределенный эпизод	недостаточная уверенность модели

Результат обучения оценивается по матрице классификации и по динамике функции потерь и точности. На рис. 4 показан пример контроля: матрица отражает распределение решений по классам, а графики позволяют проверить устойчивость процесса обучения.

4. Пакетный анализ и экспертная разметка

После подготовки входных данных выполняется пакетный анализ записей. Каждая запись имеет следующие параметры: статус обработки, оценка качества, частота дискретизации, длительность, число обнаруженных событий и число выделенных эпизодов.

Экспертная разметка используется для развития модели и контроля решений. Классификатор заранее назначает событию класс и уровень уверенности, затем эксперт проверяет метку. Проверенные эпизоды включаются в набор для обучения модели-кандидата. В результате формируется рабочий цикл «модель – эксперт – уточнение модели».

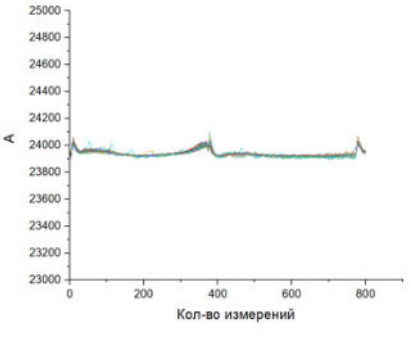


Классы: 0 – внутренний разряд, 1 – поверхностный, 2 – корона, 3 – плавающий дефект, 4 – шум. Модель устойчиво отделяет фоновый шум от сигналов частичных разрядов.

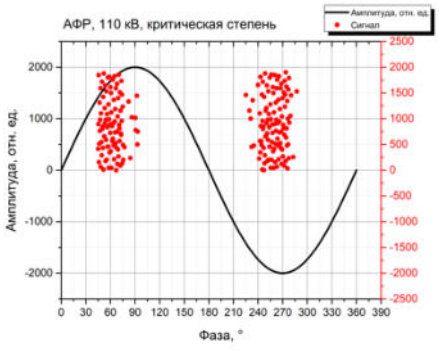
Монотонное снижение ошибки (Loss) и рост точности (Accuracy) подтверждают корректность выбранной архитектуры и параметров обучения.

Рис. 4. Оценка эффективности гибридной архитектуры

На рис. 5 приведен пример результатов обработки акустической диагностики: зависимость амплитуды импульсов ЧР от количества зарегистрированных событий, амплитудно-фазовое распределение ЧР и итоговая классификация.



Зависимость амплитуды импульсов ЧР от количества зарегистрированных событий



Амплитудно-фазовое распределение частичных разрядов

Параметр	Значение
Тип разряда	
0) Частичный	0.92
1) Коронный	0.04
2) Поверхностный	0.02
3) Плавающий	0.01
4) Шум	0.01
Параметры системы	
Расстояние	12 м
Напряжение	110 кВ
Внешние условия	
Температура	+20°C
Влажность	65%

Классификация с помощью разработанной модели

Рис. 5. Результаты обработки данных акустической диагностики

5. Обсуждение и выводы

ИИ-мониторинг акустических сигналов ЧР включает проверку качества записи, выделение диагностических эпизодов, расчет временных, спектральных и фазовых признаков, классификацию и экспертное подтверждение результата.

Фазовая синхронизация дополняет амплитудный и спектральный анализ, поскольку фиксирует положение акустического импульса относительно периода напряжения промышленной частоты.

Классификация выполняется гибридной архитектурой CNN–LSTM: сверточная часть выделяет частотно-временные признаки эпизода, а рекуррентная часть учитывает динамику последовательности событий. Классы помехи и неопределенного эпизода позволяют не относить каждый зарегистрированный сигнал к разрядам.

Экспертная разметка используется для проверки решений классификатора и накопления подтвержденных данных. Проверенные метки служат основой для обучения модели-кандидата и последующего уточнения классификатора.

Список литературы

1. IEC 60270:2025. High-voltage test techniques – Partial discharge measurements. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2025.
2. Иванов, Д. А. Детектирование акустических сигналов частичных разрядов на дефектах изоляционного оборудования / Д. А. Иванов, Т. Г. Галиева, А. В. Голенищев-Кутузов, М. Ф. Садыков, Р. И. Калимуллин, А. В. Семенников // Омский научный вестник. – 2021. – № 6 (180). – С. 48–55.
3. Гатауллин, А. М. Обзор современных методов защиты и диагностики состояния интеллектуальных систем электроснабжения / А. М. Гатауллин, А. Н. Гавриленко, Ю. В. Писковацкий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2025. – Т. 27. – № 4. – С. 3-29.
4. Kunicki M., Cichoń A. Application of a Phase Resolved Partial Discharge Pattern Analysis for Acoustic Emission Method in High Voltage Insulation Systems Diagnostics // Archives of Acoustics. 2018. Vol. 43, № 2. P. 235–243. DOI: 10.24425/122371.
5. Florkowski M. Classification of Partial Discharge Images Using Deep Convolutional Neural Networks // Energies. 2020. Vol. 13, № 20. Article 5496. DOI: 10.3390/en13205496.
6. Abubakar A., Zachariades C. Phase-Resolved Partial Discharge (PRPD) Pattern Recognition Using Image Processing Template Matching // Sensors. 2024. Vol. 24, № 11. Article 3565. DOI: 10.3390/s24113565.
7. Liu T., Zhang X., Zhang C., Guo H., Liu J. GIS Partial Discharge Pattern Recognition Based on a Novel Convolutional Neural Networks and Long Short-Term Memory // Entropy. 2021. Vol. 23, № 6. Article 774. DOI: 10.3390/e23060774.
8. Alshalawi A. H., Al-Ismail F. S. Partial Discharge Detection Based on Ultrasound Using Optimized Deep Learning Approach // IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 5151–5162. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3350555.

УДК 332.146.2

КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РЕГИОНАЛЬНОЙ КОНТРАКТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ПОДДЕРЖКИ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

Валиуллина С.З., аспирант, старший преподаватель кафедры высшей математики, моделирования и анализа данных ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-1089-5818

CONCEPT OF A DIGITAL DOUBLE OF THE REGIONAL CONTRACT SYSTEM FOR ADAPTIVE SUPPORT OF SMALL BUSINESSES

Valiullina S.Z., Postgraduate Student, Senior Lecturer at the Department of Higher Mathematics, Modeling, and Data Analysis, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-1089-5818

Аннотация

Единые нормативные требования к участию субъектов малого предпринимательства в системе государственных и муниципальных закупок обусловливают в регионах Российской Федерации существенно различающиеся результаты. Установленный разброс не может быть объяснён исключительно различиями в бюджетной обеспеченности регионов, поскольку на

доступ предпринимателей к государственному заказу оказывают влияние структура регионального рынка закупок, состав государственных и муниципальных заказчиков, уровень концентрации поставщиков и сложившаяся практика организации закупочных процедур. Цель исследования состоит в разработке концепции «цифрового двойника» региональной контрактной системы, устанавливающей соответствие между типом региона и приоритетными мерами поддержки малого предпринимательства. Эмпирической основой послужили результаты проведённой ранее двухэтапной кластеризации 85 субъектов Российской Федерации по показателям закупочной активности субъектов МСП и макроэкономическим характеристикам территорий, в результате которой выделены четыре мета-кластера: зоны сбалансированного роста, высокой концентрации, дефицита и стагнации. Архитектура предлагаемого цифрового двойника включает диагностический, симуляционный и рекомендательный модули.

Ключевые слова: цифровой двойник, государственные и муниципальные закупки, малое предпринимательство, искусственный интеллект, региональная контрактная система, региональная экономика

Abstract

Uniform regulatory requirements for the participation of small businesses in the system of state and municipal procurement lead to significantly different results in the regions of the Russian Federation. The established spread cannot be explained solely by differences in the budget provision of regions, since the access of entrepreneurs to government orders is influenced by the structure of the regional procurement market, the composition of state and municipal customers, the level of concentration of suppliers and the established practice of organizing procurement procedures. The purpose of the study is to develop the concept of a "digital twin" of a regional contract system that establishes a correspondence between the type of region and priority measures to support small businesses. The empirical basis was the results of an earlier two-stage clustering of 85 subjects of the Russian Federation in terms of the purchasing activity of SMEs and the macroeconomic characteristics of the territories, as a result of which four meta-clusters were identified: zones of balanced growth, high concentration, scarcity and stagnation. The architecture of the proposed digital twin includes diagnostic, simulation and recommendation modules.

Keywords: digital twin, state and municipal procurement, small business, artificial intelligence, regional contract system, regional economy

Введение

В мировой практике на сегодняшний день цифровизация государственных закупок не сводится к переводу документооборота в электронную форму. Современные информационные системы осуществляют проверку закупочной документации, оценивают эффективность проведенных закупочных процедур, предотвращают картельные сговоры. По мере накопления соответствующих массивов данных цифровые технологии могут использоваться не только для контроля уже совершённых действий, но и для предварительной оценки последствий управленческих решений. Одним из наиболее перспективных инструментов такого рода выступает «цифровой двойник» закупочного процесса: модель, объединяющая данные о ходе закупок с возможностью просчитывать различные сценарии до принятия решения.

На региональном уровне подобные инструменты особенно востребованы. Государственный и муниципальный заказ оказывает непосредственное влияние на загрузку производственных мощностей предприятий, уровень занятости и инвестиционную активность территории. Для субъекта малого предпринимательства контракт с государственным или муниципальным заказчиком способен стать источником устойчивого спроса, однако доступ к такому заказу распределён между регионами крайне неравномерно. В ранее проведённом исследовании установлено, что доля закупок у субъектов МСП в регионах Российской Федерации варьировала от 19 до 93% [1]. Высокая бюджетная обеспеченность региона не гарантирует

широкого участия малого бизнеса в закупках. В экономически развитом регионе значительный объём государственного заказа оказывается сосредоточенным у ограниченного числа крупных поставщиков, тогда как менее обеспеченный регион способен формировать более доступный закупочный рынок за счёт небольшой размерности лотов и системной работы с предпринимательским сообществом. Таким образом, прямая зависимость между экономическим потенциалом территории и уровнем участия малого бизнеса в закупках не прослеживается. При этом основные нормативные требования к организации закупок и преференции остаются едиными для всех субъектов РФ.

Учёт подобной неоднородности требует решения двух разных задач. Диагностическая задача требует определения типа региона по показателям вовлечения субъектов МСП в государственные закупки. Её решает разработанная ранее региональная типология закупочных рынков, построенная методом двухэтапной кластеризации 85 субъектов Российской Федерации [1, 2]. Она позволяет отнести регион к одной из групп со сходными характеристиками закупочной активности, но не даёт возможности оценить последствия конкретной меры поддержки именно для регионов этого типа. Отсюда возникает вторая задача: просчитать эффект управленческого решения до его принятия. Её призваны решать современные цифровые инструменты, такие как технологии искусственного интеллекта, предиктивной аналитики и «цифровые двойники», которые в последние годы всё активнее применяются в сфере закупок.

Обзор литературы

В последние годы возможности искусственного интеллекта, предиктивной аналитики и технологий контроля в сфере закупок обсуждаются всё более активно. По данным анализа Организации экономического сотрудничества и развития, охватывающего более 200 практических примеров применения искусственного интеллекта государственными органами разных стран, наиболее развитыми функциями остаются автоматизированные проверки соответствия, обнаружение сговоров и выявление аномалий на различных этапах закупочного цикла [3]. Казанцев Д.А., Догнал П., Догнал-Младший П. к перспективным направлениям также относят автоматизацию планирования потребностей, проверку закупочной документации и выявление признаков ограничения конкуренции [4]. Систематический обзор международной практики использования методов машинного обучения для выявления коррупции и сговора в закупках показывает, что наиболее востребованными остаются модели распознавания коллюзии и статистические методы выявления фаворитизма, при этом лишь ограниченное число разработок доведено до практического внедрения [5]. Burov T. в своей работе оценивает возможность использования модели «цифрового двойника» закупочной процедуры, объединяющей структурированные данные электронных площадок, показатели фактического исполнения контрактов, данные датчиков интернета вещей, в целях профилактики коррупционных рисков [6]. Развитие этого направления связано также с интеграцией цифровых двойников с технологией блокчейн и смарт-контрактами: апробированные на инфраструктурных объектах решения демонстрируют возможность автоматического запуска платежей и фиксации статуса исполнения контракта при подтверждении показателей в режиме реального времени [7], а применение цифрового двойника для управления бюджетным финансированием капитальных объектов позволяет синхронизировать распределение средств с фактическим ходом закупочных и строительных работ [8]. Российские исследования также обращаются к задаче перехода от реактивного мониторинга закупочного цикла к проактивному управлению на основе предиктивных моделей, включая гибридные алгоритмы прогнозирования цены, конкуренции и сроков исполнения контрактов [9]. Пока подобные решения ориентированы преимущественно на уровень отдельной операции, объекта или конкретной процедуры, регион как рынок со специфической структурой спроса и предложения в них, как правило, не рассматривается.

Связь между эмпирической типологией регионов и рассмотренными выше цифровыми инструментами прогнозирования остаётся слабо разработанной. Именно на этом пересечении находится предмет настоящего исследования: кластеризация позволяет установить

характерные ограничения регионального закупочного рынка, а «цифровой двойник» – сопоставить возможные варианты управленческого воздействия на него.

Цель настоящего исследования состоит в разработке концепции цифрового двойника региональной контрактной системы, связывающего кластерную типологию субъектов Российской Федерации со сценарным выбором мер поддержки малого предпринимательства.

Основная часть

Эмпирической базой исследования послужили результаты ранее проведённой двухэтапной кластеризации 85 субъектов Российской Федерации [1, 2]. Для расчётов использовались 1 636 569 записей реестра контрактов ЕИС за 2023 год, а также макроэкономические показатели Федеральной службы государственной статистики. На первом этапе кластеризации учитывались охват субъектов МСП закупками, доля контрактов с такими поставщиками в стоимостном выражении, уровень концентрации закупок у региональных поставщиков и доля закупок с начальной максимальной ценой контракта менее 20 млн. руб. На втором этапе анализировались отраслевая концентрация ВРП, степень сходства структуры региональной экономики с общероссийской и уровень бюджетной обеспеченности до распределения дотаций.

Сопоставление результатов двух проведённых классификаций позволило сформировать четыре устойчивые группы регионов, которые в настоящей работе обозначены как мета-кластеры. В зону сбалансированного роста вошли территории, демонстрирующие стабильную динамику вовлечения малого и среднего бизнеса в закупочные процедуры при относительно невысокой степени монополизации рынка заказов. Второй мета-кластер, именуемый зоной высокой концентрации, аккумулирует субъекты федерации с внушительными объёмами государственного спроса, однако доступ небольших компаний к крупным контрактам здесь существенно затруднён. Третий кластер «зона дефицита» отмечен нерегулярным участием предпринимателей в торгах на фоне ограниченности как финансовых, так и организационных ресурсов. Зона стагнации объединяет регионы, где слабые показатели присутствия МСП в закупках соседствуют с крайне ограниченным пулом потенциальных исполнителей. Важно подчеркнуть, что предложенное группирование служит лишь первичным ориентиром для выявления наиболее острых точек напряжения и не отменяет необходимости углублённой диагностики каждого отдельного субъекта РФ.

В рамках данного исследования под цифровым двойником региональной контрактной системы мы понимаем имитационную модель, воспроизводящую ключевые характеристики закупочного рынка территории и позволяющую оценивать последствия корректировки регулируемых параметров закупочной политики. В отличие от статичных панелей мониторинга, такое модельное представление даёт возможность не только фиксировать текущие значения индикаторов, но и прослеживать их внутренние взаимосвязи, а также строить многовариантные прогнозы развития ситуации.

Архитектурно предлагаемое решение включает три функциональных блока (рис. 1).

1. Диагностический модуль ориентирован на фиксацию актуального состояния региона по спектру параметров, используемых для проведения кластеризации. Результатом его функционирования становится не просто формальная маркировка субъекта как принадлежащего к тому или иному мета-кластеру, а детализированный профиль. Такой профиль позволяет зафиксировать, по каким именно направлениям регион строго соответствует своему типу, а где наблюдаются значимые отклонения. Например, регион, отнесённый к зоне дефицита, может одновременно показывать высокую региональную концентрацию закупок у субъектов МСП, и это обстоятельство критически важно при выборе управленческих мер.

При этом необходимо учитывать динамику регионов между кластерами, поскольку экономические показатели имеют свойство изменяться. Без регулярного пересмотра позиции региона на основе обновляемых данных цифровой двойник рискует транслировать устаревшее представление о рыночной конъюнктуре, что снижает практическую ценность всех последующих расчётов.



Рис. 1. Архитектура цифрового двойника региональной контрактной системы

2. Симуляционный модуль выполняет роль вычислительного ядра системы. Его основное назначение заключается в сравнении исходного состояния регионального рынка с гипотетическими вариантами, возникающими при изменении тех или иных регулируемых характеристик. В числе таких регулируемых параметров, например, величина лотов, график и размер авансовых платежей, требования к обеспечению исполнения обязательств, договорные сроки оплаты, а также возможность привлечения малых предприятий в кооперации в качестве субподрядчиков. В определённых случаях в сценарии целесообразно включать и нефинансовые инструменты, например, консультационное сопровождение или информационную поддержку участников.

3. Рекомендательный модуль предназначен для трансляции полученных расчётных данных в форму, пригодную для восприятия и использования органами управления. В качестве такой формы предлагается паспорт сценария, содержащий описание исходной проблемы, изменяемые параметры, ожидаемое направление эффекта, основные риски и условия применения соответствующей меры. Паспорт сценария не является готовым нормативным решением, поскольку модель не располагает полной информацией о текущих приоритетах региона и действующих правовых ограничениях. Её выводы нуждаются в обязательной экспертной оценке; сохранение участия человека в принятии решения позволяет проверить качество исходных данных и учесть обстоятельства, не вошедшие в модель.

Информационное наполнение цифрового двойника предполагается строить на базе трёх основных источников: Единой информационной системы в сфере закупок, Единого реестра субъектов МСП и статистической отчётности Росстата. Для апробации предложенной концепции достаточно регулярного обновления показателей и ретроспективного тестирования сценариев. В дальнейшем цифровой двойник может развиваться как аналитическая надстройка над действующей информационной инфраструктурой, при этом правовые и технологические условия такой интеграции нуждаются в самостоятельной оценке.

Выбор приоритетных направлений для сценариев, безусловно, зависит от типологической принадлежности региона, однако было бы методически ошибочным жёстко закреплять за каждым кластером единственную меру. Нюансы внутренней дифференциации требуют более тонкого подхода.

Рассмотрим зону высокой концентрации. Здесь наиболее чувствительной точкой является связь между размером лота и возможностью выхода на торги малых предприятий. Модель позволяет сопоставить текущую структуру заказов с альтернативными вариантами. Уменьшение стоимостного порога лотов потенциально расширяет круг участников, но одновременно ведёт к умножению числа процедур и росту административной нагрузки на заказчиков, а в случаях закупки технологически сложных, комплексных работ излишнее дробление может затруднить координацию между исполнителями. Следовательно, суть проблемы не в механическом сокращении контрактов, а в поиске баланса между доступностью, конкурентной средой и управляемостью процесса.

В зоне дефицита главным барьером часто выступает не отсутствие интереса к заказу, а нехватка у предпринимателей собственных оборотных средств. Даже полностью соответствуя требованиям заказчика, предприятие может отказаться от участия, если ему необходимо авансировать производство или закупку ресурсов до поступления денег по контракту. В такой ситуации логично сравнивать различные схемы авансирования, увязывая их с отраслевой спецификой и сроками исполнения. Например, единая норма аванса вряд ли будет одинаково эффективна для закупки продовольствия и для строительства, поскольку финансовые циклы в этих сферах различны. Помимо прогнозируемого изменения числа участников, модель должна оценивать дополнительную нагрузку на региональный бюджет и вероятность срыва обязательств.

Ситуация с высокой концентрацией поставщиков хотя и не является прямым свидетельством нарушений, требует повышенного внимания. В структуру цифрового двойника может быть включён аналитический контур, отслеживающий частоту побед одних и тех же компаний в торгах, общее количество участников, глубину снижения начальной цены, а также устойчивость сложившихся закупочных связей. Данный сценарий пересекается с поддержкой малого предпринимательства лишь опосредованно: если реальный рынок для новых игроков фактически закрыт, то корректировка формальных квот или широкое информирование вряд ли приведут к значимым сдвигам.

В зоне стагнации корень проблемы лежит в иной плоскости: потенциальных участников может попросту не быть в достаточном количестве ещё на этапе планирования процедуры. В этом случае цифровая модель целесообразно используется для поиска предприятий, чей профиль деятельности соответствует нуждам региональных заказчиков. Однако речь здесь не о подмене конкурсных механизмов автоматическим назначением исполнителя, а о превентивном информировании компаний, обнаружении не занятых рыночных сегментов, организации обучающих программ и, при необходимости, расширении зоны поиска на соседние субъекты федерации. Такой подход, хотя и не гарантирует мгновенного появления новых участников, способен сократить существующий информационный разрыв между спросом и предложением. На территориях со слаборазвитой бизнес-средой именно подобные мягкие меры могут оказаться более действенными, чем очередное ужесточение или либерализация формальных нормативов.

Заключение

Таким образом, единые нормативные требования к участию малого бизнеса в закупках приводят в регионах Российской Федерации к существенно различающимся результатам. Выявленный разброс связан не только с общим уровнем экономического развития территории, но и со структурой закупок, размером контрактов, составом поставщиков и региональной практикой управления.

Ранее проведённая кластеризация позволила выделить зоны сбалансированного роста, высокой концентрации, дефицита и стагнации, различающиеся по характеру преобладающих ограничений. Следовательно, различаться должны и сценарии, подлежащие проверке перед принятием соответствующего управленческого решения.

Разработанная концепция цифрового двойника региональной контрактной системы объединяет диагностику региона, сопоставление сценариев и подготовку аналитической рекомендации. Результатом её применения должен стать паспорт сценария с описанием ожидаемых эффектов, рисков и условий применения управленческих мер.

Список литературы

1. Валиуллина, С. З. Типология региональных рынков государственных закупок для субъектов МСП: подход на основе комбинированной кластеризации / С. З. Валиуллина // Russian Journal of Economics and Law. – 2026. – Т. 20, № 1. – С. 64-92. – DOI 10.21202/2782-2923.2026.1.64-92. – EDN MBRKPL.

2. Гафурова, Г. Т. Дифференциация региональной политики госзакупок для субъектов малого и среднего предпринимательства: подход на основе матричной типологии (мета-кластеризации) / Г. Т. Гафурова, С. З. Валиуллина // Экономический анализ: теория и практика. – 2026. – Т. 25, № 4. – С. 180-198. – DOI 10.24891/ibejcu. – EDN IBEJCU.

3. OECD. AI in Public Procurement // Governing with Artificial Intelligence. Paris: OECD Publishing, 2025.

4. Казанцев, Д. А. Использование искусственного интеллекта для проведения конкурентных закупок: проблемы правового регулирования / Д. А. Казанцев, П. Догнал, П. П. Догнал // Journal of Digital Technologies and Law. – 2024. – Т. 2, № 3. – С. 585-610. – DOI 10.21202/jdtl.2024.30. – EDN DLADNS.

5. Schneider dos Santos E., Machado dos Santos M., Castro M., Tyska Carvalho J. Detection of fraud in public procurement using data-driven methods: a systematic mapping study // EPJ Data Science. – 2025. – Vol. 14. DOI: 10.1140/epjds/s13688-025-00569-3.

6. Burov T. Internet of Things and Digital Twins in Public Procurement: A Model for Smart Control and Corruption Prevention // 3rd Scientific Conference “Innovative Information Technologies for Economy Digitalization” (IITED – 2025). Sofia: UNWE, 2025. – P. 77–85.

7. Battista D., Colace F., Dembele S.P., Khan M., Lorusso A., Santaniello D. Blockchain and Smart Contracts for Public Administration: A Digital Approach to Transparent and Predictive Infrastructure Management // Intelligent Sustainable Systems: Selected Papers of WorldS4 2025. – 2025. – P. 24–33.

8. Lynch K.M., Issa R.R.A., Anumba C.J. Financial Digital Twin for Public Sector Capital Projects // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2023. – Vol. 37. № 3. DOI: 10.1061/JCCEE5.CPENG-4961.

9. Orishchenko A.V., Voevodina E.I. Predictive analytics in the tender procurement system: methodological tools and limitations // Экономика и управление. – 2025. – Т. 13. № 5. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.05.13.020.

УДК 004.855.3

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ: ВОЗМОЖНОСТИ, ВЛИЯНИЕ НА РЕСУРСЫ И РИСКИ

Ванюшев А.А., магистрант;
ORCID: 0009-0000-0091-0686;
E-mail: alex_von1@mail.ru;
Кладиев А.В., старший преподаватель кафедры АСОИУ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-6762-6897;
E-mail: Thor79@yandex.ru

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO OPERATING SYSTEMS: CAPABILITIES, RESOURCE IMPACT, AND RISKS

Vaniushev A.A., Master's Student;
ORCID: 0009-0000-0091-0686;
E-mail: alex_von1@mail.ru;
Kladiev A.V., Senior Lecturer, Department of Automated Information Processing and Control Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-6762-6897;
E-mail: Thor79@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматривается интеграция искусственного интеллекта в современные операционные системы и оценивается её влияние на архитектуру, производительность, энергопотребление и информационную безопасность вычислительных устройств. Цель исследования состоит в систематизации основных направлений применения ИИ на различных уровнях операционной системы и определении связанных с ними преимуществ, ограничений и рисков. Выделены два взаимосвязанных подхода: AI for OS, предполагающий применение интеллектуальных моделей для совершенствования планирования процессов, управления памятью, вводом-выводом и механизмами защиты, и OS for AI, ориентированный на адаптацию системной инфраструктуры к выполнению ресурсоёмких ИИ-нагрузок. На примере Windows показано, что интеллектуальные функции внедряются не только в пользовательский интерфейс, поиск и цифровых помощников, но и в системные службы и механизмы распределения аппаратных ресурсов. Рассмотрена роль процессоров CPU, графических ускорителей GPU и нейронных процессоров NPU при локальном выполнении моделей. Установлено, что применение ИИ может повысить эффективность распределения ресурсов, снизить задержки и энергопотребление, а также обеспечить более адаптивное взаимодействие пользователя с системой. Одновременно интеграция моделей увеличивает вычислительные накладные расходы, усложняет программно-аппаратный стек и создаёт риски, связанные с несовместимостью драйверов, дрейфом моделей, непрозрачностью решений, обработкой персональных данных и зависимостью от облачной инфраструктуры. Отдельное внимание уделено перспективе использования LLM-агентов, способных интерпретировать пользовательские намерения и вызывать системные инструменты через API. Обоснована необходимость ограничивать действия таких агентов политиками доступа, аудитом и контролируемыми интерфейсами. Методологическую основу работы составили сравнительный анализ научных публикаций и обобщение современных архитектурных решений, применяемых для локального и облачного выполнения моделей. Полученные результаты могут использоваться при проектировании безопасных интеллекту-

альных функций современных операционных систем. Сделан вывод о целесообразности гибридного подхода, сочетающего классические алгоритмы управления с ИИ-моделями, резервными механизмами и средствами защиты.

Ключевые слова: операционные системы, Windows, искусственный интеллект, планировщик, управление ресурсами, NPU, LLM-агенты, информационная безопасность, приватность

Abstract

The article examines the integration of artificial intelligence into operating systems and evaluates its impact on architecture, performance, energy consumption, and information security. The study aims to systematize the directions of AI application at different operating system levels and identify the advantages, limitations, and risks. Two approaches are distinguished: AI for OS, which applies intelligent models to process scheduling, memory management, input/output, and security mechanisms, and OS for AI, which adapts system infrastructure to resource-intensive AI workloads. Using Windows as an example, the study shows that functions are being introduced not only into user interfaces, search, and digital assistants, but also into system services and resource allocation mechanisms. The roles of CPUs, GPUs, and neural processing units in on-device model execution are considered. AI can improve resource allocation, reduce latency and energy consumption, and provide adaptive user interaction. At the same time, model integration increases computational overhead, complicates the software and hardware stack, and introduces risks related to driver incompatibility, model drift, opaque decisions, personal data processing, and dependence on cloud infrastructure. Particular attention is paid to LLM agents capable of interpreting user intentions and invoking system tools through APIs. Such agents require access policies, auditing, and controlled interfaces. The methodology combines a comparative review of scientific publications with a synthesis of architectural solutions for local and cloud model execution. The results may support the design of intelligent operating system functions. A hybrid approach combining conventional management algorithms with AI models, fallback mechanisms, and security controls is considered appropriate.

Keywords: operating systems, Windows, artificial intelligence, scheduling, resource management, NPU, LLM agents, information security, privacy

Операционная система выполняет роль управляющего слоя между аппаратными ресурсами и прикладными программами: распределяет процессорное время, управляет памятью и вводом-выводом, обеспечивает сетевые функции и интерфейс. Алгоритмы машинного обучения применяются практически во всех сферах экономики и производства, уже сегодня в ОС всё чаще встраиваются ИИ-компоненты, которые меняют как взаимодействие пользователя с системой, так и внутренние политики управления ресурсами.

В инженерной литературе выделяют два направления: «AI for OS» – применение ИИ для улучшения подсистем ОС (планировщик, память, I/O, безопасность), и «OS for AI» – адаптация ОС под эффективное выполнение ИИ-нагрузок [1,5]

На примере Windows эти направления сочетаются: ИИ-функции внедряются в оболочку и сервисы ОС, а также опираются на аппаратные ускорители (GPU/NPU), что влияет на производительность и энергопотребление.

Интеграцию ИИ в ОС удобно рассматривать как внедрение на нескольких уровнях от «верхнего» пользовательского до «нижнего» аппаратного. Такой взгляд позволяет отделить интерфейсные функции (помощник, поиск) от ядра (scheduler, memory policy) и инфраструктуры выполнения моделей (GPU/NPU) [1].

Многие сценарии ИИ в ОС относятся к «AI for OS»: прогнозирование нагрузки, оптимизация планировщика, безопасность и адаптивные политики работы подсистем. Одновременно усиливается «OS for AI»: ОС должна эффективно обслуживать ИИ-нагрузки, учитывать особенности памяти моделей, ускорителей и профилирования [2].

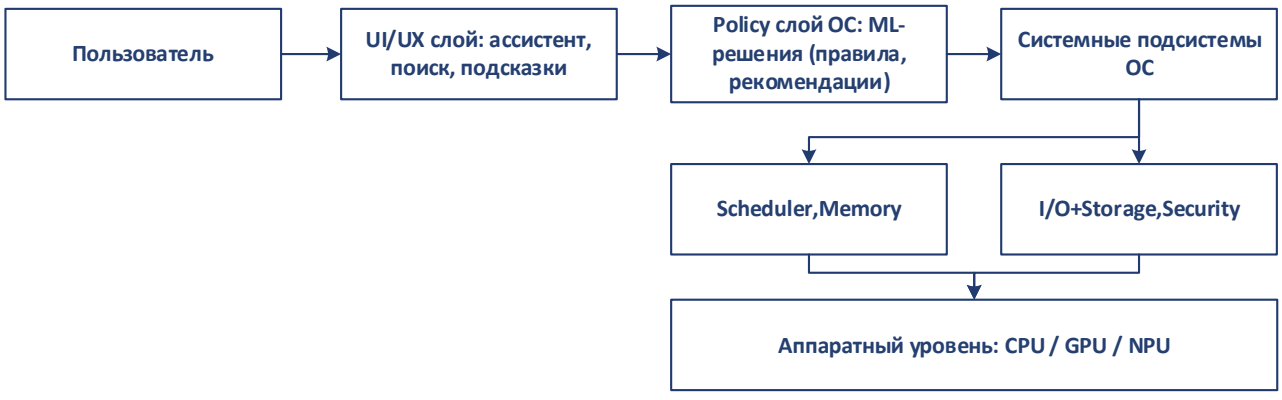


Рис 1. Классификация уровней интеграции ИИ в ОС (текстовый блок)

Практический вывод для Windows состоит в том, что ИИ «появляется» не в одном месте. Он распространяется: вверх через интерактивные помощники и семантические механизмы интерфейса, вниз через аппаратную поддержку on-device AI, где ОС начинает рассматривать NPU как отдельный ресурс

Классический путь работы в ОС строился вокруг приложений и меню. Переход к интент-ориентированному взаимодействию делает ОС координатором действий: системе требуется контекст (файлы, события, история), а решения становятся менее прозрачными для пользователя. Для Windows это означает более глубокую интеграцию ИИ-функций в сервисы ОС и рост требований к контролю доступа и аудиту.

Одним из наиболее практичных направлений является применение ИИ для улучшения планирования процессов (планировщика) и управления ресурсами.

Основная идея заменить статические правила (или дополнить их) прогнозирующими моделями: система измеряет нагрузку, оценивает предстоящие пики и перестраивает политику выполнения задач.

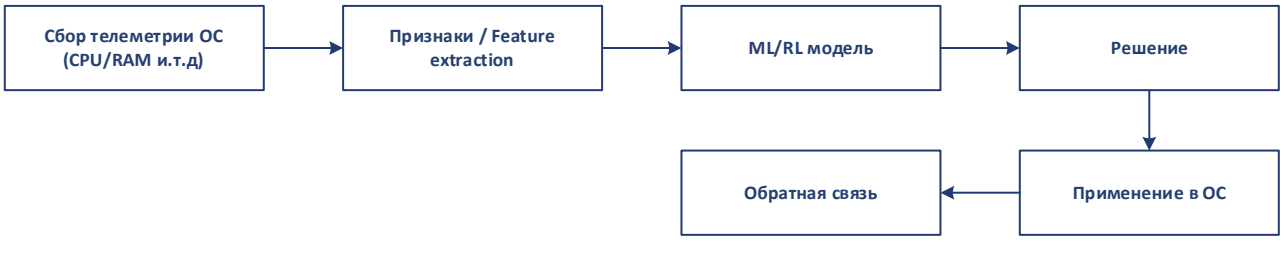


Рис. 2. Архитектура «AI for OS» (замкнутый контур управления)

Исследования по оптимизированному подчёркивают ожидаемые эффекты: снижение задержек, улучшение загрузки ресурсов и потенциальное снижение энергопотребления за счёт более точного распределения вычислений и фоновых процессов

При этом в обзорных исследованиях по интеграции ИИ в операционные системы отмечаются существенные ограничения: модели требуют постоянного сбора данных и дополнительных вычислительных ресурсов; их решения могут терять устойчивость при изменении среды и характера нагрузки (дрейф модели); а внедрение в критические подсистемы требует строгой проверки корректности и наличия резервных механизмов возврата к классическим алгоритмам управления.

Чтобы показать это более предметно, можно выделить два типовых места внедрения: планировщик и управление памятью/вводом-выводом.

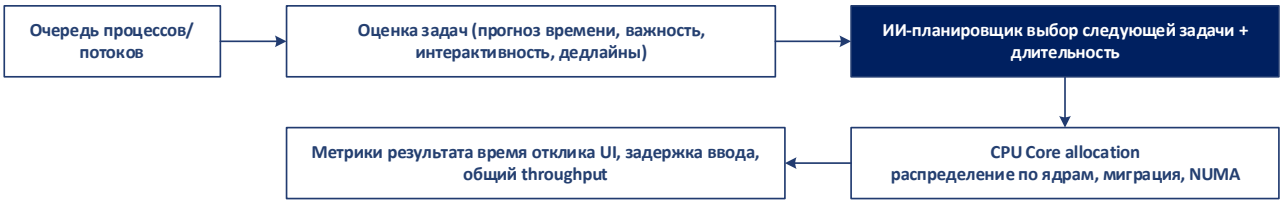


Рис 3. ИИ-планировщик процессов (scheduling)



Рис. 4. ИИ-управление ресурсами (CPU/RAM/I/O)

Для Windows практический смысл этих подходов связан с высокой неоднородностью пользовательских сценариев: браузер, среда разработки, видеосвязь, фоновая индексация, антивирус, обновления. ИИ потенциально способен точнее «подстраивать» политику распределения ресурсов, однако это сопровождается увеличением вычислительных накладных расходов и необходимостью строгого контроля корректности принимаемых решений.

Появление on-device AI меняет ресурсную картину: помимо CPU и GPU всё чаще используется NPU – ускоритель нейронных вычислений. ОС должна уметь выбирать вычислительный движок, управлять памятью моделей и учитывать влияние инференса на задержки и энергопотребление.

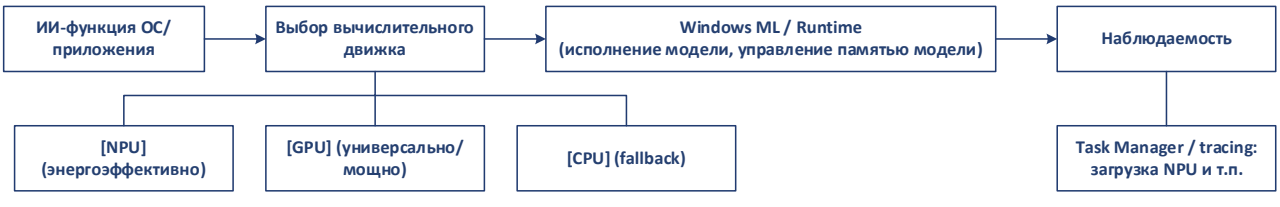


Рис. 5. On-device AI в Windows: выбор ускорителя и наблюдаемость

Плюсы on-device AI энергоэффективность и разгрузка CPU. Минусы это усложнение стека драйверов и времени выполнения(runtime), риски несовместимости и необходимость контроля, чтобы ИИ-задачи не ухудшали отзывчивость системы.

В перспективе LLM (Большие языковые модели) могут стать «слоем взаимодействия»: пользователь формулирует задачу, модель строит план и вызывает системные инструменты (tool calls) через API, частично заменяя цепочку меню и окон. Для агентного подхода критичны ограничения (policy/guardrails): без них возможны злоупотребления разрешениями, утечки данных и атаки через подмену намерений, поэтому выполнение должно идти через контролируемые OS-API.

Многие ИИ-функции основаны на анализе пользовательского контекста: истории, документов, коммуникаций, системных событий. Даже если часть инференса выполняется локально, тренд на «сервисы-платформы» приводит к более тесной интеграции с облаком. Это создаёт дополнительный слой угроз: передача и хранение данных, зависимость от внешней инфраструктуры, усложнение аудита.



Рис. 6. Приватность при облачной интеграции ИИ

Идея активного моделирования поведения пользователя, необходимого для функционирования «умной» операционной системы, предполагает обработку значительного объёма персональных и контекстных данных. В современных исследованиях по интеграции ИИ в операционные системы это рассматривается как один из ключевых барьеров широкого внедрения: вопросы приватности, информационной безопасности и нормативных ограничений остаются критически значимыми [1, 3].

На основании проведённого анализа процесс интеграции ИИ в операционную систему можно представить в виде последовательного управленческого контура. Сначала система собирает показатели загрузки CPU, GPU, NPU, оперативной памяти и подсистемы ввода-вывода. Полученные данные обрабатываются с использованием классических правил и ИИ-модели, после чего выбранная политика проходит проверку с применением механизмов контроля, аудита и резервного режима. Такой подход обеспечивает адаптивное распределение вычислительных ресурсов и одновременно снижает риски, связанные с непрозрачностью решений и возможными ошибками интеллектуальной модели.



Рис. 7. Гибридная схема интеграции ИИ в управление ресурсами операционной системы

Интеграция ИИ в ОС затрагивает интерфейс, системные политики и работу с железом (CPU/GPU/NPU). Это даёт автоматизацию действий и оптимизацию выполнения, но повышает сложность, накладные расходы и риски приватности/ИБ, особенно при облачной зависимости. Практически оправдан гибридный подход «правила + ИИ» с жёсткими ограничителями, аудитом и безопасными системными API.

Практический аспект состоит в том, что ускорение ИИ-задач на NPU (нейронный процессор), обычно реализуется не через прямые низкоуровневые вызовы приложения, а через системный стек компонентов (библиотеки, драйверная модель, аппаратная абстракция и ML-рантайм). Приложение работает с программной средой ОС, а она распределяет вычисления между CPU/GPU/NPU с учётом доступных ускорителей, энергопотребления и типа задачи. Это упрощает внедрение ИИ-функций, но делает критичными совместимость драйверов, зрелость стека и прозрачность механизма распределения ресурсов.

Список литературы

1. Bura S. AI and the future of operating systems // Information Services & Use. 2016. – Vol. 36. – P. 127–131. – DOI: 10.3233/ISU-160794. (дата обращения: 01.02.2026).

2. Waheed A., Sanaullah, Khan H. A. F. Artificial Intelligence in Operating System // Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence

(CSAI ’19). – Normal, IL, USA, December 6–8, 2019. – New York : Association for Computing Machinery, 2019. – DOI: 10.1145/3374587.3374635. (дата обращения: 01.02.2026).

3. Zhao X., Zhang Y., Li Z., Cheng G., Yin J., Liu Z., Zhang L., Chen Z. Integrating Artificial Intelligence into Operating Systems: A Survey on Techniques, Applications, and Future Directions [Электронный ресурс]. – 2025.

4. Shankar V., Srivatsava K. B., Li X. Enhancing Operating System Performance with AI: Optimized Scheduling and Resource Management // International Journal of Artificial Intelligence & Machine Learning. – 2025. – Vol. 4, Issue 1. – P. 172–191. – DOI: 10.34218/IJAIML_04_01_013. (дата обращения: 01.02.2026).

5. Ванюшев, А. А. От булевых операций к нейросетям: алгоритмический подход с Brain.js в задачах XOR, AND и OR / А. А. Ванюшев, А. С. Сытник. – Текст: электронный // Вестник НЦБЖД. – 2025. – № 2 (64). – С. 75–83. – ISSN 2075-4957. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82579636 (дата обращения: 01.02.2026).

УДК 330.34, 332.1

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭКОНОМИКУ РЕГИОНА: ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Васильев В.Л., к.э.н., доцент кафедры экономики и менеджмента Елабужского института ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Елабуга, Россия
ORCID: 0000-0002-3609-5174

THE IMPACT OF DIGITAL TECHNOLOGIES ON THE REGIONAL ECONOMY: AN INSTITUTIONAL ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE NATIONAL INNOVATION SYSTEM

Vasilev V.L., candidate of economic sciences, associate professor, associate professor at the department of economics and management, Elabuga institute of Kazan (Volga region) federal university, Elabuga, Russia;
ORCID: 0000-0002-3609-5174

Аннотация

В статье рассматривается влияние цифровых технологий на экономическое развитие региона через призму институционального анализа инновационной системы. Автор обосновывает, что цифровая экономика представляет собой новый этап инновационного развития, а цифровые технологии выступают ключевым инструментом преодоления институциональных барьеров. Инновационный процесс понимается как циклический феномен, включающий последовательные фазы: генерацию знаний, их правовую охрану, коммерциализацию и рыночную диффузию. Нарушение иерархии темпов роста между фазами интерпретируется как разрыв в цикле расширенного воспроизводства инноваций. На основе эмпирического анализа выделены четыре типа региональных инновационных систем, различающихся локализацией институциональных проблем. Показано, что цифровые платформы трансфера технологий, инструменты искусственного интеллекта и краудинвестинговые механизмы могут выступать в роли усилителей движения инновации по институциональным стадиям инновационного цикла, однако их эффективность зависит от целенаправленной трансформации институциональной среды. Практические рекомендации адресованы органам региональной власти и институтам развития.

Ключевые слова: инновационная система, институциональная среда, цифровая экономика, инновационный цикл, экономическое развитие, трансфер технологий

Abstract

The article examines the impact of digital technologies on the economic development of a region through the lens of institutional analysis of the innovation system. The author argues that the digital economy represents a new stage of innovative development, and digital technologies serve as a key tool for overcoming institutional barriers. The innovation process is understood as a cyclical phenomenon that includes successive phases: knowledge generation, its legal protection, commercialization, and market diffusion. A disruption in the hierarchy of growth rates between phases is interpreted as a break in the cycle of expanded reproduction of innovations. Based on empirical analysis, four types of regional innovation systems have been identified, differing in the localization of institutional problems. It has been shown that digital technology transfer platforms, artificial intelligence tools, and crowdinvesting mechanisms can act as amplifiers of innovation movement through the institutional stages of the innovation cycle; however, their effectiveness depends on the purposeful transformation of the institutional environment. Practical recommendations are addressed to regional authorities and development institutions.

Keywords: innovation system, institutional environment, digital economy, innovation cycle, economic development, technology transfer

Введение

Переход к новому технологическому укладу, ядром которого являются цифровые технологии, коренным образом меняет представления об экономическом росте и национальной безопасности. Информация и знания становятся основным производственным ресурсом, а способность экономики генерировать и внедрять инновации – главным фактором конкурентоспособности. В этих условиях экономическая безопасность региона всё в большей степени определяется его местом в новой цифровой экосистеме: способностью не только адаптировать готовые технологии, но и создавать собственные, обеспечивая независимость от внешних поставщиков и устойчивость к санкционному давлению.

Однако практика показывает, что простое внедрение цифровых решений не гарантирует желаемого эффекта. Во многих случаях инвестиции в цифровизацию не приводят к росту производительности или инновационной активности. Более того, они могут усугубить существующие проблемы, автоматизируя неэффективные бизнес-процессы и создавая иллюзию технологического прогресса.

Ключевая причина этого парадокса, с нашей точки зрения, лежит в институциональной плоскости. Инновационный процесс должен пониматься как циклический феномен [1]. Он включает последовательные фазы: генерацию новых знаний, их правовое оформление, превращение в коммерчески привлекательные технологии, рыночную реализацию и обратную связь с рынка, которая должна инициировать новый цикл. На каждом из этих этапов действуют свои институты – «правила игры», структурирующие взаимодействие экономических агентов [2]. Если институты не согласованы между собой или на каком-то из этапов они отсутствуют, возникают проблемы институциональной среды инновационной системы. Эти проблемы наиболее остро проявляются при переходе от одной фазы инновационного цикла к другой. Применение институтов, эффективных для одной фазы, к другой, где требуются иные механизмы, приводит к снижению эффективности инновационного процесса. Например, использование сугубо рыночных методов хозяйствования в фазе творческого развития человеческого капитала может привести к его деградации. И наоборот, институты творческого развития, не предполагающие стоимостных пропорций и прибыльности, в фазе трансфера и коммерциализации технологий приведут к потере экономических ресурсов.

Цифровые технологии в этом смысле могут выступать как мощный инструмент устранения этих барьеров, выступая в роли усилителей движения инновации по институциональным стадиям инновационного цикла. Однако для этого нужно чётко понимать, где именно возникают эти барьеры, и точечно применять цифровые инструменты для цифровизации необходимых и эффективных институтов, а не всех подряд.

Цель настоящего исследования – выявить институциональные проблемы, препятствующие эффективному прохождению инноваций по фазам инновационного цикла в российских регионах, и обосновать возможности цифровых технологий как средства их преодоления для повышения уровня экономического развития.

Теоретические основы и методология исследования

Теоретическую основу исследования составляют три взаимосвязанные научные школы. Во-первых, институциональная экономика. Во-вторых, теория инновационных систем. H. Etzkowitz и L. Leydesdorff в своей концепции «тройной спирали» показали, что на стыке университетов, промышленности и государства возникают гибридные институты, обеспечивающие трансфер технологий [3]. В-третьих, теория стратегического управления, а именно принцип соподчиненности темпов роста. Как отмечает В.Г. Варнавский [4], структурные сдвиги в экономике диагностируются через нарушение пропорций между темпами роста различных показателей. Для обеспечения расширенного воспроизводства необходимо, чтобы темпы роста на начальных, «фундаментальных» стадиях систематически опережали темпы роста на завершающих, «рыночных» стадиях.

Методология исследования включает комплекс методов. Для структурирования инновационного процесса применялся метод концептуального анализа, позволивший выделить четыре последовательные фазы. Для диагностики институциональных проблем использовался метод сопоставления темпов роста ключевых показателей на каждой фазе. Эмпирическая база исследования охватывает данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат) за 2014–2024 гг. по 85 субъектам Российской Федерации [5]. Метод кластеризации данных позволил выделить четыре типа регионов в зависимости от конфигурации темпов роста. Метод множественных тематических сопоставлений использовался для интерпретации полученных результатов в контексте современной научной литературы. Контент-анализ публикаций по темам «инновации», «цифровые технологии», «институты» позволил выявить ключевые понятия и проблемные области. Также применялись статистические методы (нормирование показателей, расчёт средних значений, факторный анализ). Для диагностики структуры инновационного процесса использовалась авторская методика, апробированная в предшествующих исследованиях и основанная на представлении инновационного цикла в виде четырёх последовательных фаз [6; 7].

Инновационный цикл представлен в виде четырёх фаз:

1. Генерация инновационных идей. Охватывает фундаментальные и прикладные исследования. Ключевой показатель – доля внутренних затрат на научные исследования и разработки в валовом региональном продукте (ВРП);

2. Правовая охрана и трансфер технологий. На этом этапе результаты исследований превращаются в охраняемый объект интеллектуальной собственности. Ключевой показатель – количество выданных патентов на изобретения и полезные модели в расчёте на тысячу человек населения;

3. Рыночная институционализация и инвестиции в инновации. Этап, когда идея находит инвестора и воплощается в опытные образцы или технологии. Ключевой показатель – доля затрат организаций на инновационную деятельность в общем объёме отгруженной продукции;

4. Диффузия и масштабирование. На этой фазе инновация становится массовым рыночным продуктом. Ключевой показатель – доля инновационных товаров, работ, услуг в общем объёме отгруженной продукции.

Нормативная модель сбалансированного инновационного цикла предполагает, что темпы роста этих показателей должны быть иерархически согласованы: Темп роста фазы 1 > Темп роста фазы 2 > Темп роста фазы 3 > Темп роста фазы 4.

Содержательная интерпретация норматива: для самодостаточного развития необходимо, чтобы темпы наращивания исследовательского задела опережали темпы оформления прав на него, те – темпы инвестиций в производство, а последние – темпы роста выпуска инновационной продукции. Нарушение этой иерархии свидетельствует о наличии разрыва в цикле расширенного воспроизводства инноваций.

Результаты исследования

Проведённый анализ данных по 85 субъектам Российской Федерации за период 2014–2024 гг. показал, что ни в одном из анализируемых регионов не была соблюдена полная нормативная иерархия темпов роста [6, 7]. Это означает, что проблема разрывов в цикле расширенного воспроизводства инноваций носит системный характер для всей российской экономики. Однако конфигурация этих разрывов в разных регионах существенно различается. Это позволило выделить четыре типа региональных инновационных систем в зависимости от того, на каком этапе инновационного цикла возникает снижение скорости движения инновации по фазам инновационного цикла.

Первый тип («экстенсивно-зависимая модель»). Для этих регионов характерна обратная нормативной иерархия темпов роста: финальные стадии цикла растут быстрее начальных. Это означает, что экономический рост здесь обеспечивается за счёт импорта технологий и внешнего финансирования, а не за счёт собственной научной базы. Собственный исследовательский потенциал здесь практически отсутствует или деградирует.

Второй тип («кризис коммерциализации»). В регионах этого типа наблюдается резкое снижение скорости движения инновации по фазам инновационного цикла на стадии перехода от патентования к рыночным инвестициям. Расходы на НИОКР и патентная активность могут быть на относительно высоком уровне, но эти патенты не превращаются в реальные инвестиции в производство и инновационную продукцию. Это указывает на проблемы в работе институтов трансфера технологий.

Третий тип («разорванный цикл»). Для этих регионов характерна собственная исследовательская база (темпы роста фазы 1 выше темпов роста фазы 2), но спрос на инновации со стороны бизнеса (фазы 3 и 4) существенно опережает возможности местной генерации. Это говорит о том, что научный задел не успевает за потребностями производства, или же институты не обеспечивают эффективного взаимодействия между ними.

Четвёртый тип («переходная модель»). Регионы данного типа демонстрируют наиболее гармоничное сочетание темпов роста на всех этапах. Они приближаются к сбалансированной модели, однако и здесь сохраняются определённые дисбалансы, требующие точечной корректировки.

Детальный анализ инновационных показателей Республики Татарстан, которая относится к четвёртому типу, показывает, что в последние годы здесь наблюдается устойчивая позитивная динамика. По таким показателям, как затраты на исследования и разработки, количество патентов, затраты организаций на инновационную деятельность и объём отгруженной инновационной продукции, регион опережает общероссийские показатели [5]. Однако при пофазном анализе темпов роста в Татарстане была выявлена специфическая проблема. Наиболее устойчивым и трудноустранимым оказался разрыв, возникающий между второй и третьей фазами – между этапом патентования и этапом рыночных инвестиций. Его суть в том, что при растущих инвестициях в инновационную инфраструктуру и притоке патентов, поток реальных проектов для коммерциализации остаётся недостаточным. Это указывает на системную проблему в работе институтов трансфера технологий, которые не справляются с задачей «упаковки» знаний в привлекательные для бизнеса проекты.

Обсуждение и рекомендации

Выявленная проблема – снижение скорости движения инновации по фазам инновационного цикла на этапе трансфера технологий – не уникальна для России. Международные исследования показывают, что цифровая трансформация создаёт как новые возможности, так и новые риски для инновационных посредников.

Как показывают G. Anzolin и E. O'Sullivan, успех современной инновационной системы определяется не столько наличием отдельных элементов инфраструктуры, сколько качеством связей и координации между ними [8]. Традиционные институты (бизнес-инкубаторы, центры трансфера технологий) в цифровую эпоху нуждаются в серьёзной модернизации. Они должны становиться не просто административными структурами, а активными цифровыми посредниками, использующими платформенные решения.

Аналогичный вывод делают C. Zhang и N. Liu, которые в результате обзора литературы отмечают, что современные исследования инновационных посредников смещаются в сторону изучения эффективности инноваций и трансфера технологий в цифровой среде [9]. Возникает потребность в новых институциональных формах, способных работать с большими данными и обеспечивать быстрый поиск индустриальных партнёров.

Как отмечает С.А. Туменова, в условиях текущей экономической асимметрии особая роль в активизации инновационного процесса отводится региональным инновационным экосистемам, способным обеспечить непрерывность инновационного цикла через усиление интегрированности сетевых партнёров [10].

В этом контексте цифровые технологии могут выступить как инструмент преодоления институциональной инерции. Однако наличие технологий само по себе не гарантирует успеха. Ключевым фактором является качество институтов: прозрачность правил, защита прав собственности, эффективность регулирования. Только сильные институты позволяют трансформировать технологический потенциал в реальный экономический рост. Поэтому цифровой суверенитет и экономическая безопасность – это не просто технологическая независимость, а способность экономической системы обеспечивать расширенное воспроизводство, вовлекая все слои общества в инновационный процесс и справедливо распределяя его доходы.

На основе проведённого анализа мы предлагаем следующие меры по усилению движения инновации по институциональным стадиям инновационного цикла с помощью цифровых технологий:

Для фазы 1 (генерация идей): внедрение цифровых платформ непрерывного образования, позволяющих фиксировать и признавать цифровые компетенции на протяжении всей жизни. Институциональное оформление таких платформ (например, цифровые портфолио, верифицированные работодателями) создаст стимулы для постоянного обновления знаний.

Для фазы 2 (патентование и трансфер технологий – наиболее актуальная проблематика): создание региональных цифровых платформ трансфера технологий, работающих по принципу «одного окна». Такие платформы должны включать базу данных объектов интеллектуальной собственности, систему их технологического аудита, инструменты автоматизированного поиска индустриальных партнёров с использованием искусственного интеллекта, а также блокчейн-системы для защиты прав. Это позволит снизить транзакционные издержки и ускорить движение инноваций от идеи к рынку.

Для фазы 3 (рыночная реализация): использование цифровых краудинвестинговых платформ для привлечения финансирования в инновационные проекты, особенно на ранних стадиях, когда традиционные источники капитала недоступны.

Для фазы 4 (диффузия и масштабирование): цифровизация государственных и корпоративных закупок, внедрение механизмов «инновационных квот» и «цифровых двойников» для оценки эффективности внедряемых решений. Это создаст устойчивый спрос на инновационную продукцию и обеспечит обратную связь с рынком, замыкая цикл.

Для замыкания цикла (фаза 4 → фаза 1): использование смарт-контрактов для автоматического распределения части прибыли от коммерциализации инноваций на финансирование новых исследований.

Предложенные меры должны реализовываться не хаотично, а как часть целостной региональной стратегии, синхронизирующей промышленную, денежно-кредитную и социальную политику.

Заключение

Проведённое исследование показало, что ключевым препятствием для экономического развития регионов России являются не столько технологические, сколько институциональные проблемы, возникающие на различных фазах инновационного цикла. Нарушение пропорций между темпами роста на последовательных этапах – от генерации знаний до рыночной диффузии – свидетельствует о наличии системных разрывов в цикле расширенного воспроизводства инноваций.

Эмпирический анализ, проведённый на основе данных по 85 субъектам РФ, позволил выделить четыре основных типа региональных инновационных систем, различающихся локализацией институциональных проблем. Наиболее критичный и устойчивый разрыв выявлен на стадии трансфера технологий, когда создаваемый научный задел не находит своего воплощения в производственных инвестициях и инновационной продукции. Особенно ярко этот дисбаланс проявляется в регионах-лидерах, включая Республику Татарстан.

Цифровые технологии рассматриваются нами как эффективный, но не самодостаточный инструмент преодоления институциональных барьеров. Их применение должно быть точечным и целенаправленным, основанным на точной диагностике «узких мест» инновационного цикла. Цифровые инструменты должны цифровизировать необходимые и эффективные институты, а не все подряд. Создание цифровых платформ трансфера технологий, внедрение инструментов искусственного интеллекта и блокчейна могут значительно ускорить переход инноваций между фазами, но только при условии синхронной трансформации институциональной среды: защиты прав собственности, обеспечения прозрачности контрактов и создания стимулов для долгосрочных инвестиций в человеческий капитал.

В конечном счёте, устойчивое экономическое развитие региона достигается не через изоляцию, а через формирование самовоспроизводящейся инновационной экосистемы. Цифровой суверенитет – это не автаркия, а способность генерировать, внедрять и защищать инновации, обеспечивая справедливое распределение создаваемой ценности.

Благодарности

Работа выполнена за счёт гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение от 22.12.2025 №12/2025-ПД-КФУ).

Список литературы

1. Steenbrink R., Skali A. Wealth Inequality and Economic Growth: Evidence from the World Inequality Database // World Development. – 2026. – Vol. 199. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2025.107250.

2. North D.C. Institutions, Institutional Change and Economic Performance – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 159 p. – ISBN 978-0-521-39734-6.

3. Etzkowitz H., Leydesdorff L. The Dynamics of Innovation: from National System and Mode 2 to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations // Research Policy. – 2000. – Vol. 29, № 2. – P. 109-123. – DOI: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4.

4. Варнавский, В. Г. Мировая экономика: драйверы, тренды, перспективы / В. Г. Варнавский. – Москва: Весь Мир, 2025. – 416 с. – ISBN 978-5-7777-0968-8.

5. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2025: статистический сборник / Росстат. – Москва, 2025. – 1035 с. – URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения: 25.01.2026). – Текст: электронный.

6. Васильев, В. Л. Оценка эффективности и сбалансированности региональных инновационных систем на основе анализа развития инновационного процесса / В. Л. Васильев // Вопросы инновационной экономики. – 2026. – Т. 16, № 1. – С. 135-158. – DOI: https://doi.org/10.18334/vinec.16.1.124755.

7. Васильев, В. Л. Диагностика и снижение институциональных дисбалансов инновационного цикла в условиях развития цифровых технологий в Республике Татарстан / В. Л. Васильев, Э. М. Ахметшин, Н. Р. Хадасевич // Экономика и управление. – 2026. – Т. 32, № 4. – С. 416-433. – DOI: http://doi.org/10.35854/1998-1627-2026-4-416-433

8. Anzolin G., O'Sullivan E. Innovation Intermediaries in the Digital Transformation Process. A Comparative Case Study of Research and Technology Organisations in the US and the UK // Technovation. – 2025. – Vol. 142. – Article 103200. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2025.103200.

9. Zhang C., Liu N. Innovation Intermediaries: A Review, Bibliometric Analysis, and Research Agenda // The Journal of Technology Transfer. – 2024. – Vol. 49, № 3. – P. 1113-1143. – DOI: https://doi.org/10.1007/s10961-023-10030-0.

10. Туменова, С. А. Развитие региональных инновационных экосистем: от концепции к реализации / С. А. Туменова // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2025. – Т. 16, № 4. – С. 729-747. – DOI: 10.18184/2079-4665-2025.16.4.729-747.

УДК 004.932.4

ГАММА-КОРРЕКЦИЯ В ПОТОКОВЫХ ПЛИС-ТРАКТАХ ПРЕДОБРАБОТКИ ВИДЕО ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ: АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ОБОСНОВАНИЕ ТАБЛИЧНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМ ПАРАМЕТРОМ

Гайсин К.Р., аспирант ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-7003-0359

GAMMA CORRECTION IN STREAMING FPGA VIDEO PREPROCESSING PIPELINES FOR NEURAL-NETWORK OBJECT DETECTION: ANALYSIS OF METHODS AND RATIONALE FOR A LOOK-UP-TABLE IMPLEMENTATION WITH A TUNABLE PARAMETER

Gaisin K.R., postgraduate student, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-7003-0359

Аннотация

Применение нейросетевых детекторов объектов на встраиваемых платформах технического зрения сопряжено с высокой чувствительностью к вариациям яркости на входе. Дефицит освещённости, локальные пересветы и искажения, возникающие из-за автоматического усиления камеры, ухудшают видимость мелких целей и увеличивают время до первого

их выявления. Данная работа направлена на обобщение методов предварительной обработки видеоизображений по яркости и на обоснование выбора гамма-коррекции (степенной функции преобразования) в качестве ключевого компонента для потоковых трактов на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), расположенных перед нейросетевым модулем. Рассмотрена математическая модель степенного преобразования, проанализированы его характерные свойства: независимость вычислений по пикселям, монотонность зависимости и регулирование единственным параметром. Показано, что именно эти характеристики обеспечивают совместимость метода с конвейерной архитектурой, где задержка вычислений является детерминированной. Проведено сопоставление гамма-коррекции с альтернативными методами: линейным изменением контраста, глобальным и локальным выравниванием гистограммы, алгоритмами на базе Retinex и нейросетевыми моделями улучшения изображения. Сравнение выполнялось по критериям, критичным для потоковой обработки: объему вычислений, потребности в буферизации кадров, латентности и возможности динамической подстройки без остановки видеопотока. Для аппаратной реализации предложена архитектура на базе таблицы соответствия (LUT), размещенной в блочной памяти, что позволяет выполнять преобразование за один такт. Смена параметра коррекции осуществляется перезаписью «теневой» копии таблицы через управляющие регистры и не требует реконфигурации логики. Отдельно рассмотрен ночной режим с включенным автоусилением, где направление полезной коррекции заранее определить невозможно. Это обосновывает необходимость построения адаптивного контура управления параметром по отклику детектора. Практическая ценность решения состоит в обеспечении постоянной задержки сигнала и независимости сложности аппаратной части от диапазона допустимых значений параметра. Полученные результаты применимы при разработке систем предобработки видео для задач мониторинга, робототехники и промышленного контроля, работающих в реальном времени.

Ключевые слова: гамма-коррекция, предобработка изображений, ПЛИС, потоковая обработка, таблица замены, нейросетевое обнаружение объектов, ночное видеонаблюдение, адаптивная настройка параметров, системы технического зрения реального времени, динамический диапазон

Abstract

Neural network object detectors deployed on embedded vision platforms are highly sensitive to brightness variations at the input. Poor illumination, local overexposure, and distortions introduced by the automatic gain control of the camera reduce the visibility of small targets and delay their first detection. This paper reviews brightness preprocessing methods for video data and substantiates the choice of gamma correction, a power-law intensity transformation, as the key component of streaming pipelines on field-programmable gate arrays placed in front of the neural network module. The mathematical model of the power-law transformation is considered, and its characteristic properties are analyzed: pixel-wise independence of computations, monotonicity, and control through a single parameter. Precisely these properties make the method compatible with pipelined architectures with deterministic processing delay. Gamma correction is compared against alternative techniques: linear contrast adjustment, global and local histogram equalization, Retinex-based algorithms, and neural network models for image enhancement. The comparison uses criteria critical to streaming operation: the amount of computation, the need for frame buffering, latency, and the possibility of dynamic adjustment without stopping the video stream. For hardware implementation, an architecture based on a look-up table (LUT) stored in block memory is proposed, so the transformation completes in one clock cycle. The correction parameter is changed by rewriting a shadow copy of the table through control registers and requires no logic reconfiguration. The night mode with active automatic gain is examined separately; there the direction of useful correction cannot be determined in advance, which justifies an adaptive control loop driven by the detector response. The practical value of the solution lies in a constant signal delay and in hardware complexity that does not depend on the range of admissible

parameter values. The results can be used in the development of real-time video preprocessing systems for monitoring, robotics, and industrial inspection.

Keywords: gamma correction, image preprocessing, FPGA, streaming processing, look-up table, neural-network object detection, night video surveillance, adaptive parameter tuning, real-time machine vision systems, dynamic range

Введение

Однопроходные детекторы объектов, прежде всего семейства YOLO [1], стали основным инструментом распознавания во встраиваемых системах машинного зрения – от видеонаблюдения и промышленного контроля до бортовой электроники и мониторинга инфраструктуры [2]. Точность работы нейросетевых детекторов напрямую зависит от качества входного видеопотока. Снижение контраста, недостаток освещения и шумовой фон приводят к пропуску мелких объектов и увеличению времени до первого обнаружения, что критично для систем реального времени [3]. Ночью проблема усугубляется работой автоматического усиления: поднимая средний уровень яркости, оно одновременно повышает уровень шума и вызывает пересветы в области источников света.

Для коррекции динамического диапазона исторически применяется гамма-коррекция – степенное преобразование яркости [4], возникшее как средство компенсации нелинейности устройств отображения [5]. В аппаратных трактах этот метод остается востребованным благодаря своей простоте: он не требует буферизации кадров или строк, легко реализуется в конвейерной архитектуре и управляется всего одним параметром.

Вместе с тем в литературе по подготовке данных для нейросетей гамма-коррекция чаще всего упоминается лишь как метод аугментации или вспомогательной операции. Вопросы о том, почему именно этот метод является оптимальным базовым элементом для потоковых трактов на ПЛИС и как организовать его динамическую адаптацию без остановки обработки, остаются недостаточно изученными. В данной работе проведен анализ подходов к яркостной предобработке с учетом ограничений аппаратной реализации. Обоснована схема гамма-коррекции на основе таблицы соответствия (LUT), в которой параметр может динамически перестраиваться в системе нейросетевого обнаружения на базе ПЛИС.

1. Методика анализа

Работа построена на основе аналитического обзора с элементами структурного проектирования. Предметом анализа являются методы коррекции яркости и контраста 8-битного яркостного канала видеосигнала, расположенные в тракте перед нейросетевым детектором. Сам детектор в работе рассматривается как неизменный модуль: во встраиваемых системах он, как правило, реализуется в виде готового аппаратного ускорителя с предобученными весами, что делает предобработку единственным этапом, доступным для программной или логической настройки.

Сравнительный анализ методов осуществляется по критериям, учитывающим ограничения потоковой реализации на ПЛИС: вычислительная сложность на один отсчёт; объём необходимых буферов (отсутствие буферов, строчные буферы, буфер полного кадра); величина задержки и её детерминированность; количество управляющих параметров и возможность их изменения «на лету» без перестройки логики или остановки видео; тип компенсируемого искажения; совместимость с фиксированной моделью детектора. Все оценки в работе качественные: они опираются на структурные свойства алгоритмов, а не на измерения какой-либо конкретной реализации. Количественное влияние параметров предобработки на метрики детекции здесь не анализируется – этому посвящены отдельные эксперименты авторов.

2. Яркостные искажения ночного видеопотока и их влияние на детектор

Детектор никогда не видит сцену саму по себе. На его вход приходит результат целой цепочки преобразований: оптика, светочувствительная матрица, автоматическая экспозиция,

кодек. Ночью каждое звено этой цепочки добавляет свои искажения. Фотонов мало – в сигнале начинает доминировать дробовой шум сенсора. Автоматическое усиление (AGC) поднимает средний уровень, но вместе с ним растёт и шум, а полезный динамический диапазон объекта сужается. Возле фонарей и фар отдельные пиксели уходят в насыщение, и контуры объекта рядом с ними пропадают. Свой вклад вносит и сжатие видео: оно смазывает мелкую текстуру, по которой детектор распознаёт удалённые цели.

Свёрточные сети обучаются в основном на дневных снимках. Когда гистограмма яркостей ночного кадра смещается относительно обучающего распределения, уверенность классификации падает, а пропуски учащаются [3]. Сильнее всего страдают мелкие объекты на большом удалении – именно те, от которых зависит момент первого обнаружения и скорость реакции системы в целом. Цель предобработки ночью, следовательно, не в том, чтобы кадр стал субъективно «красивее»: нужно так преобразовать распределение яркостей, чтобы фиксированный детектор дал устойчивый отклик как можно раньше. Причём интуитивное правило «тёмное – осветлить» для этого подходит далеко не всегда.

3. Математическая модель гамма-коррекции и её свойства

Гамма-коррекция является точечным преобразованием, которое применяется независимо к каждому пикселю. Для 8-битного канала яркости это описывается формулой (1):

$$Y_{out}(x,y) = Y_{max} \cdot \left(\frac{Y_{in}(x,y)}{Y_{max}}\right)^{\gamma} \quad (1)$$

где $Y_{in}(x, y)$ и $Y_{out}(x, y)$ – яркость входного и выходного отсчёта с координатами (x, y); Y_{max} – максимальное значение шкалы яркости (255 для 8-битного представления); $\gamma > 0$ – управляющий параметр.

Эта модель имеет три ключевых свойства, делающих её идеальной для потоковой обработки на ПЛИС.

Во-первых, выход зависит только от текущего входа и параметра γ, без связей с соседями. Это значит, что не требуются буферы для хранения строк или кадров – обработка идет в момент поступления данных с задержкой в несколько тактов. Во-вторых, преобразование строго монотонное: порядок яркостей сохраняется. В отличие от оконных фильтров, здесь не возникают «ложных» перепадов или новых экстремумов. В-третьих, весь процесс управляет всего один скалярный параметр γ. Это позволяет менять поведение тракта, не перестраивая логику кристалла.

Характер изменения контраста можно оценить по производной (локальному коэффициенту усиления):

$$\frac{dY_{out}}{dY_{in}} = \gamma \cdot Y_{max}^{1-\gamma} \cdot Y_{in}^{\gamma-1} \quad (2)$$

Если $\gamma < 1$, наибольшее усиление приходится на тёмную часть шкалы и спадает к светлой: тени растягиваются, света поджимаются, и кадр в целом становится светлее. При $\gamma > 1$ картина обратная, контраст растёт уже в светлой области, тёмные участки сжимаются – это придавливает пересветы и заодно ослабляет усиленный шум тёмного фона. Наконец, при $\gamma = 1$ преобразование ничего не меняет. Семейство кривых преобразования (1) для нескольких значений параметра показано на рисунке 1: один и тот же аппаратный модуль в зависимости от значения параметра выполняет либо осветление, либо затемнение, а выбор направления и степени коррекции переносится на уровень управления.

4. Сравнительный анализ методов коррекции яркости с позиций потоковой реализации

Гамма-коррекция – не единственный способ компенсации яркостных искажений. В таблице 1 основные классы методов сопоставлены по критериям раздела 1.

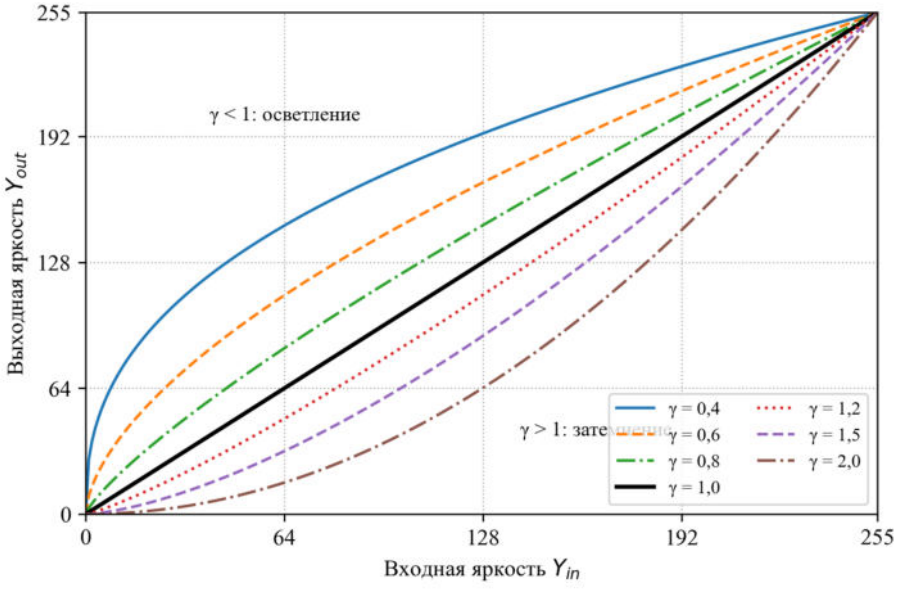


Рис. 1. Семейство кривых гамма-преобразования для различных значений параметра γ

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов коррекции яркости с позиций потоковой реализации на ПЛИС

Метод	Тип операции	Буферы	Задержка	Параметры	Пригодность
Гамма-коррекция (табличная)	точечная, таблица задаётся извне	не требуются	несколько тактов, постоянная	один (γ)	высокая
Линейное растяжение контраста	точечная, границы по статистике кадра	статистика прошлого кадра	постоянная, задержка на кадр	два (границы диапазона)	высокая
Глобальное выравнивание гистограммы	точечная, таблица по гистограмме кадра	гистограмма прошлого кадра	постоянная, задержка на кадр	нет (задаётся данными)	средняя
Локально-адаптивное выравнивание с ограничением контраста	блочная (по блокам кадра)	полоса блоков или буфер кадра	зависит от размера блока	два (размер блока, предел усечения)	ограничена
Методы на основе теории Retinex	оконная (размытие большого радиуса), логарифм	буферы строк большой глубины	зависит от радиуса	несколько (масштабы, веса)	ограничена
Нейросетевое улучшение изображения	свёрточная сеть	буфер кадра	сопоставима с детектором	веса сети	низкая

Линейное растяжение контраста и глобальное выравнивание гистограммы [4] также относятся к классу точечных преобразований и по вычислительной стоимости на один пиксель сопоставимы с гамма-коррекцией. Однако в этих методах таблица соответствия формируется на основе статистики текущего кадра, то есть зависит от входных данных, а не задается внешним параметром. В условиях потоковой обработки это приводит либо к введению задержки в один кадр, либо к использованию статистики предыдущего кадра, что вызывает кратковре-

менные рассинхронизации при резкой смене сцены. К тому же у глобального выравнивания гистограммы есть неприятная особенность: в обширных тёмных зонах оно вытягивает шум, а ночью такие зоны занимают большую часть кадра.

Локально-адаптивные подходы – выравнивание гистограммы с ограничением контраста [6], алгоритмы на основе теории Retinex – с неравномерным освещением справляются заметно лучше. Цена, однако, высока. Обработка идёт по блокам или окнам, значит, приличную часть изображения придётся буферизовать; параметров несколько, и они связаны между собой; задержка растёт вместе с размером окна. Реализовать такое в железе можно, только ресурсов уйдёт почти столько же, сколько на сам детектор. Промежуточную позицию занимают адаптивные варианты гамма-коррекции, где параметр вычисляется по распределению яркостей кадра [7]: попиксельная операция остаётся табличной, а вся адаптация уезжает на уровень управляющей логики.

Нейросетевые методы улучшения изображений при низкой освещенности, включая развёрнутые на гетерогенных ПЛИС платформах [8], обеспечивают высокое визуальное качество. Однако их вычислительная стоимость соизмерима со стоимостью работы самого детектора, а гарантированный выигрыш в точности обнаружения отсутствует, поскольку сетевая модель оптимизируется по критериям, близким к человеческому восприятию, а не по отклику детектора. Для встраиваемых систем с жестким лимитом ресурсов и требованием детерминированной задержки предпочтительнее использовать методы, у которых стоимость попиксельной операции минимальна, а интеллектуальная часть вычислений вынесена в контур управления. Гамма-коррекция лучше всего удовлетворяет этим условиям.

5. Табличная реализация на ПЛИС и перестройка параметра без остановки потока

Прямое вычисление степенной функции (1) для каждого отсчёта потребовало бы аппаратного возведения в вещественную степень через логарифмирование и экспоненцирование с заметными затратами ресурсов. Однако для квантованного входа область определения преобразования конечна – 256 значений для 8-битного канала, – поэтому преобразование целесообразно табулировать [9]. Таблица замены (look-up table, LUT) формируется по формуле (3):

$$LUT[i] = round\left(Y_{max} \cdot \left(\frac{i}{Y_{max}}\right)^{\gamma}\right),\ i = 0,1,\dots,Y_{max} \qquad (3)$$

где i – входное значение яркости, $round(\cdot)$ – операция округления к ближайшему целому. Таблица из 256 восьмибитных элементов занимает 256 байт и размещается в одном блоке двухпортовой памяти либо в распределённой памяти логических ячеек; обращение к ней выполняется за один такт, и попиксельная стоимость – одно чтение памяти; модуль добавляет фиксированную единичную ступень конвейера.

Ключевое преимущество табличной схемы состоит в отделении параметра от логики: изменение γ сводится к пересчёту 256 значений на процессорной системе и их загрузке в память. Чтобы смена параметра не нарушала потоковый режим, таблицу целесообразно дублировать: пока активная копия обслуживает видеопоток, теневая копия заполняется новыми значениями через регистры управления, а обмен ролями копий выполняется по флагу начала кадра потокового интерфейса (рис. 2).

Такая организация важна для систем реального времени: латентность модуля постоянна и не зависит ни от содержимого кадра, ни от значения параметра; реконфигурация ПЛИС не требуется; привязка переключения к началу кадра гарантирует одну таблицу внутри кадра. Если таблица перезаписываемая, аппаратная сложность не зависит от набора разрешённых значений γ и шага между ними – и то и другое остаётся на усмотрение контура управления. Упрощённый вариант – банк заранее рассчитанных таблиц с регистром-селектором: логики меньше, но набор застывает при синтезе, а каждая таблица стоит памяти. Сам модуль без труда стыкуется с потоковыми интерфейсами ускорителей нейронных сетей на ПЛИС [10], образуя с детектором один конвейер без буферизации кадра.

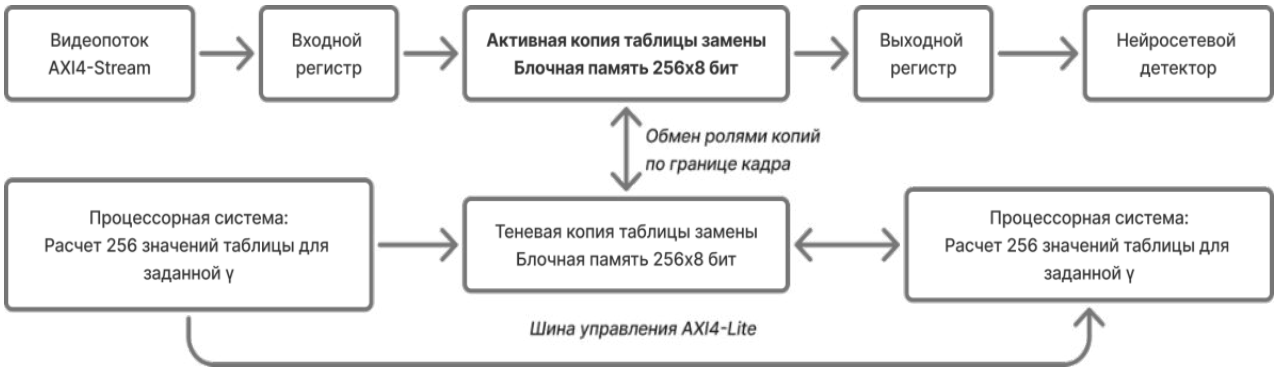


Рис. 2. Структурная схема табличного модуля гамма-коррекции
с теневой копией таблицы замены и переключением по границе кадра

6. Особенности ночных сцен и обоснование адаптивной настройки параметра

Казалось бы, тёмный ночной кадр нужно осветлять – выбирать $\gamma < 1$. Но раздел 2 показывает: к детектору приходит кадр, который автоматика камеры уже усилила. Тени в нём забиты усиленным шумом, а вокруг источников света – зоны насыщения. Осветление в такой ситуации лишь растягивает шум и раздувает насыщенные области. Умеренное затемнение (γ чуть больше единицы) действует полезнее: шумовой фон сжимается, а в светлой части диапазона, где находятся освещённые фрагменты объекта, возвращается контраст. Выходит, что направление полезной коррекции задаётся связкой сенсора, автоэкспозиции и самой сцены – а эти факторы заранее неизвестны и со временем меняются.

Поэтому фиксированное значение параметра не универсально, а выбор γ по простым статистикам кадра не гарантирует улучшения детекции, поскольку они не учитывают отклик детектора. Целесообразен замкнутый контур: детектор формирует показатели устойчивости и уверенности обнаружения, контур управления корректирует по ним параметр, а табличный модуль применяет новое значение по границе кадра; табличная реализация (раздел 5) делает смену параметра дешёвой, детерминированной и не требующей вмешательства в логику. Экспериментальная проверка контура и определение рабочих диапазонов параметра выходят за рамки статьи.

Выводы

1. Для фиксированного нейросетевого детектора во встраиваемой системе яркостная предобработка – единственная настраиваемая часть тракта; её задача – привести распределение яркостей кадра к виду, обеспечивающему ранний и устойчивый отклик детектора, а не улучшить изображение перцептивно.

2. Сравнение методов коррекции яркости по сложности, буферизации, латентности и управляемости показало, что гамма-коррекция сочетает уникальные для потоковой реализации на ПЛИС свойства: попиксельную независимость, монотонность и единственный управляющий параметр без буферизации строк и кадров.

3. Табличная схема с теневой копией и переключением по границе кадра обеспечивает однотактную операцию, постоянную латентность и смену параметра без реконфигурации логики и остановки потока; при перезаписываемой таблице набор значений параметра не влияет на аппаратную сложность.

4. В ночных сценах с автоматическим усилением камеры направление полезной коррекции заранее задать нельзя, что обосновывает замкнутый контур адаптации параметра по отклику детектора; табличная реализация – его техническая предпосылка. Дальнейшая работа направлена на экспериментальное определение рабочих диапазонов параметра и аппаратную реализацию контура на гетерогенной платформе ПЛИС.

Список литературы

1. Redmon, J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Las Vegas, 2016. – P. 779–788. – DOI 10.1109/CVPR.2016.91.
2. Медведева, Е. В. Исследование нейросетевых алгоритмов распознавания объектов железнодорожной инфраструктуры на видеоизображениях / Е. В. Медведева, А. А. Перевощикова // Компьютерная оптика. – 2025. – Т. 49, № 3. – С. 443–450. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-1563.
3. Dodge, S. Understanding how image quality affects deep neural networks / S. Dodge, L. Karam // 2016 Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). – Lisbon, 2016. – P. 1–6. – DOI 10.1109/QoMEX.2016.7498955.
4. Gonzalez, R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. – 4th ed. – New York : Pearson, 2018. – 1168 p. – ISBN 978-0-13-335672-4.
5. Poynton, C. Digital Video and HD: Algorithms and Interfaces / C. Poynton. – 2nd ed. – Waltham : Morgan Kaufmann, 2012. – 752 p. – ISBN 978-0-12-391926-7.
6. Zuiderveld, K. Contrast limited adaptive histogram equalization / K. Zuiderveld // Graphics Gems IV / ed. by P. S. Heckbert. – San Diego : Academic Press, 1994. – P. 474–485.
7. Huang, S.-C. Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution / S.-C. Huang, F.-C. Cheng, Y.-S. Chiu // IEEE Transactions on Image Processing. – 2013. – Vol. 22, No. 3. – P. 1032–1041. – DOI 10.1109/TIP.2012.2226047.
8. Li, X. FOLD: Low-Level Image Enhancement for Low-Light Object Detection Based on FPGA MPSoC / X. Li, Z. Li, L. Zhou, Z. Huang // Electronics. – 2024. – Vol. 13, No. 1. – Art. 230. – DOI 10.3390/electronics13010230.
9. Bailey, D. G. Design for Embedded Image Processing on FPGAs / D. G. Bailey. – 2nd ed. – Hoboken : Wiley, 2024. – 496 p. – ISBN 978-1-119-81979-0.
10. Лебедев, М. С. Реализация искусственных нейронных сетей на ПЛИС с помощью открытых инструментов / М. С. Лебедев, П. Н. Белецкий // Труды Института системного программирования РАН. – 2021. – Т. 33, № 6. – С. 175–192. – DOI 10.15514/ISPRAS-2021-33(6)-12.

УДК 004.932.4

МЕДИАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ПОТОКОВЫХ ПЛИС-ТРАКТАХ ПРЕДОБРАБОТКИ ВИДЕО ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМ РАЗМЕРОМ ОКНА

Гайсин К.Р., аспирант ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-7003-0359

MEDIAN FILTRATION IN STREAM PLIS VIDEO PREPROCESSING FOR NEURAL NETWORK OBJECT DETECTION: COMPARATIVE ANALYSIS OF NOISE SUPPRESSION METHODS AND JUSTIFICATION OF ARCHITECTURE WITH A REFITTING WINDOW SIZE

Gaisin K.R., postgraduate student, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-7003-0359

Аннотация

Ночной видеопоток, поступающий на вход нейросетевого детектора объектов, содержит помехи различного происхождения: шум сенсора, усиленный системой автоматической

регулировки усиления камеры, артефакты сжатия, а также пространственно-импульсные помехи, вызванные снегопадом, дождём и туманными ореолами вокруг источников света. Такие помехи снижают различимость малоразмерных объектов и задерживают момент их первого обнаружения, что критично для систем технического зрения реального времени. Целью работы является систематизация методов подавления шума применительно к потоковой предобработке видеоданных на программируемых логических интегральных схемах и обоснование выбора медианной фильтрации с перестраиваемым размером окна в качестве базового элемента такого тракта. Рассмотрена модель медианного фильтра как ранговой оконной операции, проанализированы его свойства – полное подавление одиночных выбросов, сохранение резких перепадов яркости, отсутствие операций умножения и управление единственным параметром – и показано, чем они выгодно отличают метод от линейного сглаживания. Выполнено сопоставление медианного фильтра с гауссовым сглаживанием, билатеральной фильтрацией, взвешенными и переключающимися ранговыми фильтрами, нелокальными и нейросетевыми методами шумоподавления по критериям вычислительной сложности, требований к буферизации строк, латентности и возможности изменения параметров без остановки видеопотока. Проанализированы аппаратные схемы вычисления медианы – сети сортировки и селекции, гистограммные методы и разложение по битовым плоскостям – и обоснована организация модуля со скользящим окном, буферами строк и перестраиваемым размером окна, в которой смена параметра выполняется через регистр управления без реконфигурации логики. Показано, что размер окна, оптимальный по критерию раннего обнаружения, определяется соотношением масштабов помехи и объекта и не может быть задан универсально, что обосновывает адаптивный выбор параметра по отклику детектора. Практическая значимость работы состоит в том, что предложенная организация модуля обеспечивает постоянную латентность тракта при смене параметра. Результаты применимы при проектировании трактов предобработки для систем видеонаблюдения, робототехники и промышленного контроля.

Ключевые слова: медианная фильтрация, подавление импульсного шума, предобработка видеоданных, ПЛИС, потоковая обработка, скользящее окно, сеть сортировки; нейросетевое обнаружение объектов, ночное видеонаблюдение, адаптивная настройка параметров

Abstract

The video stream from a neural network object detector contains various types of interference: sensor noise amplified by the camera's automatic gain control, compression artifacts, and spatial impulse noise caused by snow, rain, and haze around light sources. These disturbances reduce the visibility of small objects and delay their initial detection, which is critical for real-time machine vision systems. This work systematizes noise suppression methods for streaming video preprocessing on Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) and justifies using median filtering with a reconfigurable window size as a basic element. The median filter is analyzed as a windowed rank-based operation. Its properties–complete suppression of single outliers, preservation of sharp intensity gradients, lack of multiplication operations, and control by a single parameter–demonstrate its advantages over linear smoothing. A comparative analysis evaluates the median filter against Gaussian smoothing, bilateral filtering, weighted and switchable rank filters, non-local methods, and neural network-based denoising. The evaluation criteria include computational complexity, row buffering requirements, latency, and the ability to change parameters without stopping the video stream. Hardware implementation schemes for median calculation–sorting networks, histogram-based methods, and bit-plane decomposition–are examined. A module structure with a sliding window, row buffers, and a reconfigurable window size is proposed. Changing the parameter is performed via a control register without reconfiguring the logic. It is shown that the window size optimal for early detection is determined by the ratio between the scale of the interference and the object size. Consequently, it cannot be set universally, which justifies adaptive parameter selection based on the

detector's response. The practical significance lies in maintaining constant pipeline latency when changing the parameter. The results are applicable for designing preprocessing pipelines for video surveillance, robotics, and industrial inspection systems.

Keywords: median filtering; impulse noise suppression; video preprocessing; FPGA; streaming processing; sliding window; sorting network; neural-network object detection; night video surveillance; adaptive parameter tuning

Введение

Распознавание объектов в темноте остаётся одной из самых сложных задач компьютерного зрения: дефицит света, низкий контраст и сильный шум резко ухудшают работу детекторов, обученных преимущественно на дневных снимках [1]. В системах реального времени для этих задач применяют лёгкие однопроходные нейросети типа YOLO [2], реализуемые в виде аппаратных ускорителей на ПЛИС. Поскольку сама нейросеть выступает неизменным блоком, единственным элементом, адаптируемым под условия съёмки, остаётся предобработка видеопотока.

Особое место среди методов борьбы с шумом занимает медианная фильтрация – классический нелинейный оператор, устраняющий импульсные выбросы яркости без размытия границ объектов [3]. Для аппаратной реализации метод привлекателен отсутствием умножений: медиана вычисляется схемой сравнений, которая легко отображается на логические элементы ПЛИС и выдаёт результат за один такт на отсчёт [4]. Однако поведение фильтра целиком определяется размером окна, и выбор этого параметра перед нейросетевым детектором нетривиален: малое окно плохо подавляет помеху, большое стирает мелкие детали, по которым распознаются удалённые цели.

В литературе медианную фильтрацию рассматривают в основном как средство улучшения визуального качества, а критерии выбора окна формулируют через метрики качества изображения, не связанные с откликом детектора. Цель настоящей работы – сравнительный анализ методов шумоподавления с позиций потоковой реализации на ПЛИС перед фиксированной нейросетью и обоснование архитектуры медианного фильтра с перестраиваемым размером окна, допускающей адаптивную настройку без прерывания видеопотока.

1. Методика анализа

Работа выполнена в форме аналитического обзора с элементами структурного проектирования. Рассматривается яркостный канал видеопотока с 8-битным представлением отсчётов, обрабатываемый в темпе поступления данных (один отсчёт за такт) перед нейросетевым детектором, который считается фиксированным модулем без переобучения. Методы шумоподавления сопоставляются по критериям: способность подавлять импульсные помехи; сохранение границ и мелких деталей; тип арифметики (умножения, сравнения, операции с памятью); требования к буферизации; латентность и её детерминированность; число управляющих параметров и возможность их изменения без реконфигурации логики; совместимость с фиксированным детектором. Оценки носят качественный характер и опираются на структурные свойства алгоритмов.

2. Помехи ночного видеопотока и требования к шумоподавлению перед детектором

Помехи в ночном видеопотоке неоднородны как по природе, так и по масштабу. Шум сенсора, характерный для съемки при недостатке света и высоком ISO, проявляется попиксельно и «засоряет» весь кадр. Артефакты сжатия концентрируются в границах блоков кодирования. Атмосферные помехи (снег, дождь, засветки от фонарей) формируют пространственно-импульсные выбросы размером в единицы пикселей, меняющиеся от кадра к кадру. Для нейросетевого детектора именно этот класс помех опаснее всего: одиночная снежинка на темном фоне по яркости и размеру может быть принята за фрагмент удаленного объекта, а совокупность таких выбросов способна полностью перекрыть силуэт.

Требования к шумоподавлению в этом контексте принципиально отличаются от задач перцептивного восстановления изображения. Главная задача – сохранить те признаки, на которые реагируют свёрточные слои: контуры, локальные перепады яркости и мелкие текстурные детали. Особенно критична ситуация с объектами малого углового размера: они сопоставимы по масштабу с самой помехой. Поэтому слишком агрессивное сглаживание не просто размывает картинку, а уничтожает сам объект вместе с шумом, что напрямую ведет к пропускам и задержке первого обнаружения. В-третьих, обработка должна оставаться потоковой: буферизация целого кадра ради фильтрации неприемлема из-за требований к латентности и объёму памяти. Следовательно, метод шумоподавления должен обеспечивать управляемый баланс между силой подавления помех и сохранением деталей, а параметр этого баланса – допускать динамическое изменение в процессе работы.

3. Модель медианного фильтра и его свойства

Медианный фильтр относится к классу ранговых операторов: выходной отсчёт равен среднему по рангу элементу упорядоченной выборки из окна размером $k \times k$, центрированного на текущем отсчёте [3]. Для яркостного канала фильтр задаётся формулой (1):

$$Y_{out}(x,y) = med\{Y_{in}(x+i, y+j) : -r \le i \le r, -r \le j \le r\}, r = \frac{k-1}{2} \quad (1)$$

где Y_{in} и Y_{out} – входная и выходная яркость; k – нечётный размер окна; r – радиус окна; $med\{\cdot\}$ – медиана множества. При $k = 1$ фильтр вырождается в тождественное преобразование, что позволяет организовать обход фильтра без изменения структуры тракта.

Свойства фильтра, существенные для рассматриваемого приложения, следуют непосредственно из определения. Одиночный выброс, занимающий менее половины окна, не влияет на результат вовсе, тогда как линейный фильтр лишь распределяет его энергию по окрестности. Ступенчатый перепад яркости проходит через фильтр без размытия: медиана окна, большая часть которого лежит по одну сторону границы, принадлежит этой же стороне. Фильтр не содержит операций умножения и накопления – только сравнения и перестановки, что в ПЛИС означает отсутствие потребности в блоках цифровой обработки сигналов и хорошую масштабируемость по тактовой частоте [5]. Наконец, фильтр имеет единственный управляющий параметр – размер окна, – и его поведение монотонно зависит от этого параметра: с ростом k усиливается подавление помех, но исчезают детали, линейный размер которых меньше половины окна. Последнее свойство и делает выбор размера окна для детектора нетривиальным: граница между «помехой» и «объектом» зависит от дистанции наблюдения и характера помехи, а не от уровня шума как такового.

В табл. 1 медианный фильтр сопоставлен с основными альтернативами по критериям раздела 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов шумоподавления с позиций потоковой реализации на ПЛИС

Метод	Выбросы	Границы, детали	Операции	Буферы	Параметры
Усредняющий и гауссов фильтры	не гасятся, размазаны по окну	границы размываются	умножения на константы	k – 1 буферов строк	один (размер окна или σ)
Медианный фильтр	полное подавление одиночных выбросов	границы сохраняются; детали мельче k/2 теряются	только сравнения	k – 1 буферов строк	один (k)

Окончание табл. 1

Метод	Выбросы	Границы, детали	Операции	Буферы	Параметры
Медианные фильтры с весами и переключением	высокое, в том числе при высокой плотности помех	лучше базового	сравнения, детектор выбросов	k – 1 буферов строк	два и более (k, пороги)
Билатеральный фильтр	слабое	границы сохраняются	веса по разности яркостей, умножения, деление	k – 1 буферов строк	два (окно и порог яркости)
Нелокальные и спектральные методы	среднее	высокое	поиск по области, разложения	большая часть кадра	несколько
Нейросетевой фильтр	зависит от обучения	высокое	свёрточная сеть	буфер кадра	веса сети

Линейное сглаживание – усредняющий и гауссов фильтры [3] – реализуется в потоковом тракте с той же структурой окна, что и медианный, требует лишь умножений на константы и эффективно подавляет распределённый попиксельный шум сенсора, близкий по свойствам к гауссову, поэтому сохраняет своё место в тракте предобработки, в том числе совместно с ранговой фильтрацией. В случае пространственно-импульсных помех линейные фильтры оказываются бессиленными: они не подавляют выброс, а лишь размазывают его по соседним пикселям, что приводит к сглаживанию контуров объекта. Поэтому как единственное средство очистки для ночных сцен линейная фильтрация не годится. Билатеральный фильтр решает проблему сгладивания границ за счёт весов, зависящих от разности яркостей. Однако его вычислительная стоимость высока: для каждого отсчёта требуется расчет экспоненциальных весов или обращение к таблицам, а параметры фильтра тесно связаны между собой. Методы нелокального подавления шума и совместной фильтрации в частотно-временной или вейвлет-области дают лучшее качество восстановления, но требуют поиска по широкой окрестности и буферизации значительной части кадра, что несовместимо с потоковым режимом при ограниченных ресурсах. Это противоречит требованиям потоковой обработки с ограниченным объемом памяти. Нейросетевые алгоритмы шумоподавления имеют вычислительную стоимость, сопоставимую с работой самого детектора. При этом они оптимизируются по перцептивным метрикам (как человек видит шум), которые не всегда коррелируют с качеством работы нейросетевого детектора.

Модификации медианного фильтра (взвешенные, переключающиеся, адаптивные) лучше сохраняют детали при высокой плотности помех, но усложняют схему: появляются дополнительные параметры и этап детектирования искаженных отсчётов. При этом базовая оконная структура сохраняется, и фильтр наследует все ограничения оригинального медианного фильтра. Таким образом, классический медианный фильтр представляет собой наиболее экономичный оператор, сочетающий полное подавление импульсных помех, сохранение границ и управление единственным параметром, а его ограничение – разрушение мелких деталей при большом окне – устраняется не усложнением оператора, а правильным выбором окна для текущей сцены.

5. Аппаратные схемы вычисления медианы и организация модуля с перестраиваемым окном

Потоковая реализация оконного оператора на ПЛИС строится на буферах строк: для окна $k \times k$ требуется $k - 1$ буферов длиной в ширину кадра W, из которых вместе с текущей строкой формируется столбец из k отсчётов, продвигаемый через $k \times k$ регистров сдвига; все k^2 отсчётов окна доступны схеме выбора медианы одновременно, и фильтр выдаёт один результат за такт [5]. Организация модуля показана на рисунке 1. Объём выборки N и память буферов $M_{буф}$ даются формулой (2):

$$N = k^2, M_{буф} = (k - 1) \cdot W \cdot B \quad (2)$$

где B – разрядность отсчёта. Для кадра шириной 1920 отсчётов при $B = 8$ один буфер строки занимает около 15 Кбит, то есть менее одного 18-килобитного блока памяти современной ПЛИС, поэтому память буферов растёт линейно с k и не является ограничивающим фактором вплоть до больших окон.

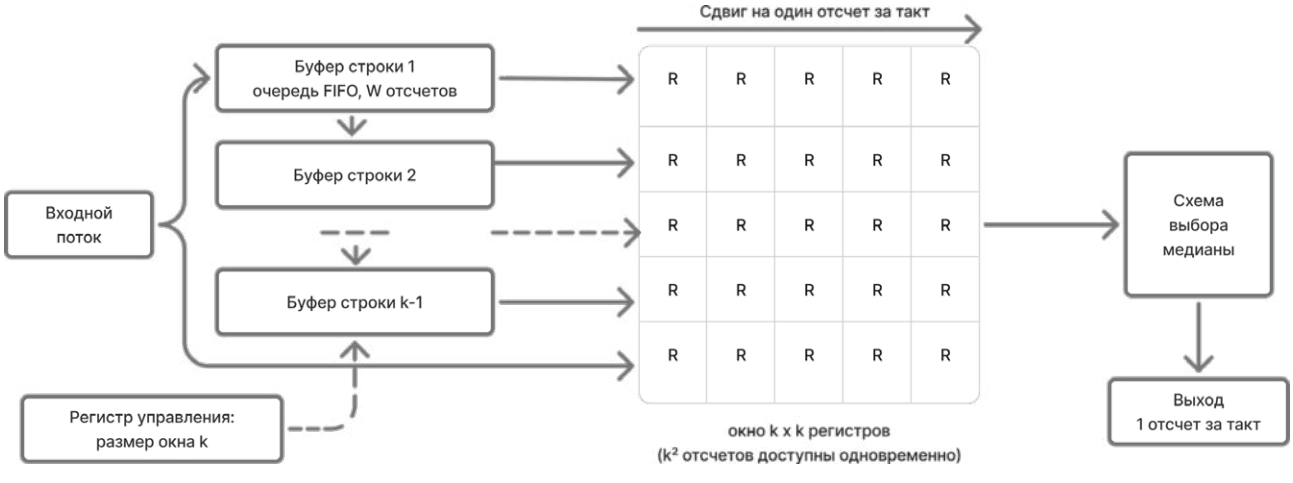


Рис. 1. Организация потокового модуля медианной фильтрации с буферами строк, окном $k \times k$ регистров и регистром управления размером окна

Основная сложность сосредоточена в схеме выбора медианы, для которой известны три класса решений. Сети сортировки и селекции строят из компараторов конвейер фиксированной структуры, число компараторов в котором растёт быстрее, чем N, а латентность равна числу ступеней; параллельные схемы упорядочения выборки для аппаратных реализаций рассмотрены в [4]. Для окна 3×3 широко используется схема из 19 операций сравнения-обмена, основанная на разложении по столбцам, формула (3):

$$Y_{out} = med(max(a_1, a_2, a_3), med(b_1, b_2, b_3), min(c_1, c_2, c_3)) \quad (3)$$

где (a_j, b_j, c_j) – отсортированные по возрастанию отсчёты j-го столбца окна. Структура такой схемы показана на рисунке 2. Гистограммные методы поддерживают распределение яркостей окна при сдвиге на один отсчёт, обновляя гистограмму за число операций, пропорциональное k [8] или не зависящее от k [9]; быстрые алгоритмы на основе анализа локальной гистограммы предложены и в отечественной литературе [10]. Они экономичны для больших окон, но требуют последовательного обхода гистограммы и потому хуже отображаются на однотактный поток. Разложение по битовым плоскостям с мажоритарным голосованием даёт компактные схемы для больших окон ценой латентности, пропорциональной разрядности отсчёта.

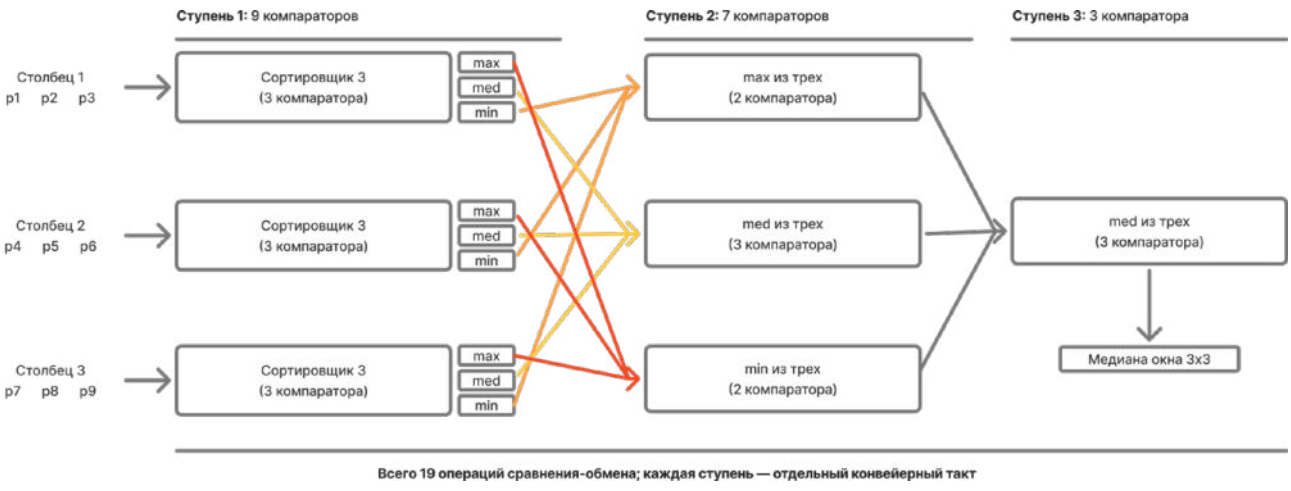


Рис. 2. Структура схемы выбора медианы окна 3 × 3 на основе разложения по столбцам (19 операций сравнения-обмена)

Перестраиваемость размера окна обеспечивается на уровне организации буферов и отводов окна: модуль строится на максимальный размер *k*_max, а активное окно меньшего размера формируется выбором отводов и заменой внешних отсчётов окна симметричными парами крайних значений шкалы – поровну минимальных и максимальных, – что сохраняет положение медианы активной выборки, либо мультиплексированием результатов нескольких схем выбора, работающих параллельно. Первый вариант обходится одной схемой выбора, рассчитанной на k_max, и экономит логику; второй требует отдельной схемы на каждый допустимый размер окна, так что их ресурсы суммируются, однако каждая схема остаётся простой фиксированной структурой и верифицируется независимо. В обоих случаях смена *k* сводится к записи регистра управления без реконфигурации логики и остановки потока, а её применение синхронизируется с границей кадра, чтобы внутри кадра действовал один размер окна. Аппаратная цена такой гибкости определяется схемой выбора медианы для k_{max}, поскольку ресурсы сети сравнений растут быстрее числа отсчётов окна (для сортирующих сетей – порядка $N \cdot \log^2 N$), память буферов растет линейно. Именно поэтому верхняя граница набора значений *k* должна выбираться с учётом ресурсного бюджета тракта.

6. Обоснование адаптивного выбора размера окна

Материал разделов 2–5 приводит к выводу: размер окна, наилучший для детектора, диктуется не измеренным уровнем шума, а тем, как соотносятся масштабы помехи и объекта. При снегопаде или ореолах в тумане помеха занимает несколько пикселей и требует широкого окна, тогда как близкий объект сохраняет крупные детали; напротив, для удалённого объекта при умеренном шуме сенсора уже первое расширение окна сверх минимального стирает текстуру цели раньше, чем справится с помехой. Входные статистики – дисперсия шума или доля импульсных отсчётов – между этими случаями не различают: сведений о масштабе объекта в них нет.

Отсюда следует, что любое фиксированное окно в одних сценах не добирает возможный выигрыш, а в других ухудшает результат; управлять параметром должна обратная связь от самого детектора: показатели устойчивости и уверенности обнаружения снимаются с его штатного выхода, не стоят дополнительных ресурсов и совпадают с целевой функцией системы. Технической базой контура служит архитектура раздела 5: она позволяет перебирать значения k из заданного набора, не останавливая поток и не меняя латентность; сам контур должен опираться на устойчивый отклик, отбрасывая единичные ложные срабатывания. Подбор рабочего набора значений *k* – задача экспериментальная и в статье не решается.

Выводы

1. Шумовая обстановка ночного видеопотока неоднородна по масштабу; наибольшую опасность для нейросетевого детектора представляют пространственно-импульсные помехи, соизмеримые с удалёнными объектами. Шумоподавление перед детектором подчиняется иным требованиям, чем перцептивное восстановление, и сводится к управляемому компромиссу между подавлением помех и сохранением деталей.

2. По результатам сравнения классический медианный фильтр объединяет полное подавление одиночных импульсных помех, сохранение границ, отсутствие умножений и один управляющий параметр; в задаче подавления импульсных помех при потоковой реализации на ПЛИС это даёт ему преимущество перед линейным сглаживанием, билатеральной фильтрацией, нелокальными и нейросетевыми методами.

3. Потоковый тракт из буферов строк, окна $k \times k$ регистров и конвейерной схемы выбора медианы выдаёт результат каждый такт при постоянной латентности; изменение размера окна достигается выбором отводов и мультиплексированием без перестройки логики, а новое значение параметра записывается в регистр управления и применяется синхронно с границей кадра.

4. Оптимальный размер окна определяется соотношением масштабов помехи и объекта, а не уровнем шума сцены, поэтому выбор параметра должен строиться на обратной связи по отклику детектора; предложенная архитектура является предпосылкой такого замкнутого контура. Дальнейшая работа направлена на экспериментальное определение рабочего набора значений размера окна и на аппаратную реализацию контура адаптации.

Список литературы

1. Wang, J. Research on Improved YOLOv5 for Low-Light Environment Object Detection / J. Wang, P. Yang, Y. Liu [et al.] // Electronics. – 2023. – Vol. 12, № 14. – Art. 3089. – DOI 10.3390/electronics12143089.

2. Redmon, J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Las Vegas, 2016. – P. 779–788. – DOI 10.1109/CVPR.2016.91.

3. Gonzalez, R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. – 4th ed. – New York : Pearson, 2018. – 1168 p. – ISBN 978-0-13-335672-4.

4. Мурсаев, А. Х. Аппаратная реализация медианного фильтра / А. Х. Мурсаев // Научное приборостроение. – 2013. – Т. 23, № 3. – С. 114–119.

5. Bailey, D. G. Design for Embedded Image Processing on FPGAs / D. G. Bailey. – 2nd ed. – Hoboken : Wiley, 2024. – 496 p. – ISBN 978-1-119-81979-0.

6. Tomasi, C. Bilateral filtering for gray and color images / C. Tomasi, R. Manduchi // Sixth International Conference on Computer Vision (ICCV). – Bombay, 1998. – P. 839–846. – DOI 10.1109/ICCV.1998.710815.

7. Cao, N. High-Noise Grayscale Image Denoising Using an Improved Median Filter for the Adaptive Selection of a Threshold / N. Cao, Y. Liu // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, № 2. – Art. 635. – DOI 10.3390/app14020635.

8. Huang, T. S. A fast two-dimensional median filtering algorithm / T. S. Huang, G. J. Yang, G. Y. Tang // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1979. – Vol. 27, № 1. – P. 13–18. – DOI 10.1109/TASSP.1979.1163188.

9. Perreault, S. Median filtering in constant time / S. Perreault, P. Hébert // IEEE Transactions on Image Processing. – 2007. – Vol. 16, № 9. – P. 2389–2394. – DOI 10.1109/TIP.2007.902329.

10. Бардин, Б. В. Быстрый алгоритм медианной фильтрации / Б. В. Бардин // Научное приборостроение. – 2011. – Т. 21, № 3. – С. 135–139.

УДК 004.89

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ НА БАЗЕ МОДЕЛЕЙ ТРАНСФОРМЕРОВ И ТЕХНОЛОГИИ RAG

Галиев Б.Ю., магистрант;
ORCID: 0009-0004-4233-4487;
E-mail: BuYGaliev@kpfu.ru;
Григорян К.А., к.э.н., доцент кафедры цифровой аналитики и технологий искусственного интеллекта Института информационных технологий и интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID:0000-0001-6470-1832

INTELLIGENT SYSTEM FOR AUTOMATING USER INTERFACE DESIGN BASED ON TRANSFORMER MODELS AND RAG TECHNOLOGY

Galiev B.Yu., Master's student;
ORCID: 0009-0004-4233-4487;
E-mail: BuYGaliev@kpfu.ru;
Grigoryan K.A., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, Department of Digital Analytics and Artificial Intelligence Technologies, Institute of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-6470-1832

Аннотация

В данной работе представлена система автоматизированной генерации пользовательских интерфейсов. Программная реализация системы базируется на создании двухмодульного пайплайна, где первый компонент трансформирует текстовый запрос пользователя или описание изображения в промежуточную структуру, а второй модуль – последующий перевод этой схемы в готовый программный код на базе мультиплатформенного фреймворка Jetpack Compose. Для обеспечения высокой точности внедрена специализированная система RAG (Retrieval Augmented Generation), позволяющая модели извлекать релевантные примеры интерфейсов из обширной базы знаний. Применение механизма управляемого декодирования (Constrained Decoding) гарантирует синтаксическую валидность выходных данных. Компонент описания изображения, встроенный в систему, обеспечивает возможность автоматического построения описаний элементов пользовательского интерфейса непосредственно на основе загруженных скриншотов. Для работы системы создан интерактивный веб-интерфейс, который позволяет разработчикам визуально корректировать иерархию компонентов и их свойства до начала этапа финального синтеза кода. Предложенный комплексный подход способствует существенному ускорению этапа прототипирования и потенциально позволит улучшить качество проектируемых цифровых продуктов за счет эффективной интеграции методов глубокого обучения в рабочий процесс разработки UI (User Interface).

Ключевые слова: искусственный интеллект, трансформеры, Retrieval-Augmented Generation, Jetpack Compose, Генерация UI, автоматизация разработки, машинное обучение, Kotlin, промежуточная редактируемая структура, мультиплатформенная генерация кода

Abstract

This paper presents a system for automated user interface generation. The system's software implementation is based on a two-module pipeline, where the first component transforms a user's

text query or image description into an intermediate structure, while the second module subsequently translates this structure into ready-to-use program code using the Jetpack Compose multiplatform framework. To ensure high accuracy, a specialized RAG (Retrieval Augmented Generation) system was implemented, allowing the model to extract relevant interface examples from an extensive knowledge base. The use of a Constrained Decoding mechanism ensures the syntactic validity of the output data. An image description component integrated into the system enables automatic generation of user interface element descriptions directly from uploaded screenshots. An interactive web interface was created for the system, allowing developers to visually adjust the component hierarchy and their properties before the final code synthesis stage. The proposed integrated approach significantly accelerates the prototyping stage and has the potential to improve the quality of designed digital products through the effective integration of deep learning methods into the UI (User Interface) development workflow.

Keywords: Artificial Intelligence, Transformers, Retrieval-Augmented Generation, Jetpack Compose, UI Generation, Development Automation, Machine Learning, Kotlin, Intermediate Editable Structure, Multi-platform Code Generation

Введение

В условиях усложняющихся требований к разработке ПО разработка пользовательских интерфейсов также сталкивается с необходимостью подстраиваться под возрастающую сложность. Как показывает исследование, простой и понятный интерфейс сайта благотворительной организации, понятные элементы интерфейса и подстраивание под ключевую аудиторию UI положительно влияют на вовлеченность пользователей, что потенциально влечет и повышение доли пожертвований [1]. Согласно другой работе, адаптивные пользовательские интерфейсы на основе ИИ могут повысить вовлеченность пользователей в задачи, требующие обработки больших объемов данных [2].

Принимая во внимание усложняющиеся требования к проектированию пользовательских интерфейсов и необходимость адаптации UI под особенности целевой аудитории, а также отсутствие специализированных ИИ-инструментов, ориентированных на генерации кроссплатформенного UI-кода, был предложен механизм создания интерфейсов на основе трансформеров и Retrieval Augmented Generation (RAG). Предлагаемая система предоставляет разработчику возможность ускоренного формирования UI-прототипов, для дальнейшей адаптации под различные пользовательские сценарии. В качестве технологии реализации выбран фреймворк Compose Multiplatform [3], обеспечивающий единообразный UI для Android, iOS, Windows, macOS и Linux.

Архитектура системы

Архитектура разрабатываемой системы состоит из 2 модулей (рис. 1). Благодаря такой архитектуре системы обеспечивается структурная точность генерируемого интерфейса, а также возможность ручной корректировки макета (например, чтобы заменить класс компонента или использовать пользовательские ресурсы строк и изображений) до начала генерации финального кода.

Спецификация этих модулей:

1. Модуль, который выступает в роли архитектора планируемого интерфейса, составляя из получаемого пользовательского запроса промежуточную структуру в виде JSON-макета.

2. Модуль, переводящий JSON-макет в код, который можно будет в дальнейшем интегрировать в свой кроссплатформенный проект.

Модуль 1. Архитектор промежуточной структуры (JSON)

Первый модуль преобразует текстовый запрос пользователя в промежуточную схему в формате JSON. В качестве вычислительного ядра здесь используется модель «Qwen2.5-14B-Instruct» [4], которая в ходе предварительных тестов показала наиболее эффективный баланс между точностью генерируемых макетов и скоростью генерации.

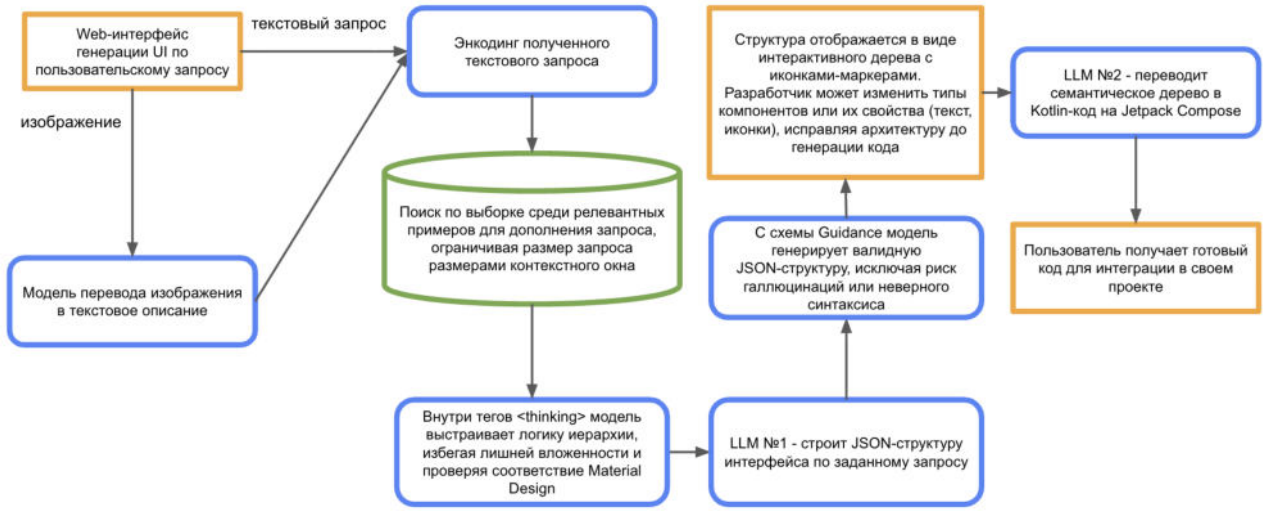


Рис. 1. Пайплайн работы системы

Для повышения точности проектирования в модуль интегрирована система RAG (Retrieval Augmented Generation), позволяющая модели обращаться к внешней базе знаний, содержащей 76 876 записей на основе датасета «RICO» [5]. На этапе генерации схемы применяется механизм последовательного рассуждения (Reasoning mechanism): модель анализирует будущую архитектуру интерфейса внутри специальных тегов, что позволяет минимизировать вложенность компонентов и обеспечить соответствие схемы стандартам Material Design 3[6]. Валидность итогового JSON-файла гарантируется использованием технологии Constrained Decoding, которая исключает генерацию несуществующих параметров и итоговую целостность всей JSON-структуры.

Модуль 2. Генератор программного кода

Второй модуль отвечает за трансляцию сформированного JSON-макета в декларативный код Jetpack Compose. Модель «Qwen2.5-14B-Coder-Instruct» прошла процедуру дообучения (SFT) на специализированном наборе данных, сформированном из 105 135 записей на языке Kotlin из датасета «The Stack» [7]. Процесс дообучения модели осуществлялся с использованием библиотеки «Unsloth» [8], что позволило адаптировать веса нейросети для стабильного сопоставления JSON-макета с кодом Jetpack Compose. Для обеспечения валидности выходных данных в модуле реализован механизм верификации: на этапе пост-процессинга применяется эвристический фильтр, который проверяет наличие терминальных символов и, в случае обнаружения незавершенного кода, инициирует повторный цикл генерации. Итоговый результат представляет собой валидный Kotlin-код, который может быть интегрирован в кроссплатформенный проект, поддерживающий работу основных платформах.

Модуль получения описания по изображению.

Для расширения функциональных возможностей системы, помимо генерации интерфейса по текстовому запросу, реализован компонент на базе модели «vikhyatk/moondream2» [9] по составлению описания изображения. Модель анализирует скриншот, поступивший ей на вход сверху вниз, выделяя компоненты, из которых состоит интерфейс.

Выводы

В ходе выполнения данной работы была спроектирована и программно реализована интеллектуальная система автоматизированной генерации пользовательских интерфейсов на базе фреймворка Jetpack Compose. Ключевой особенностью архитектуры является использование двухмодульного пайплайна, который позволяет пользователю предварительно оценить структуру и скорректировать свойства компонентов до начала финального синтеза кода (рис. 2).

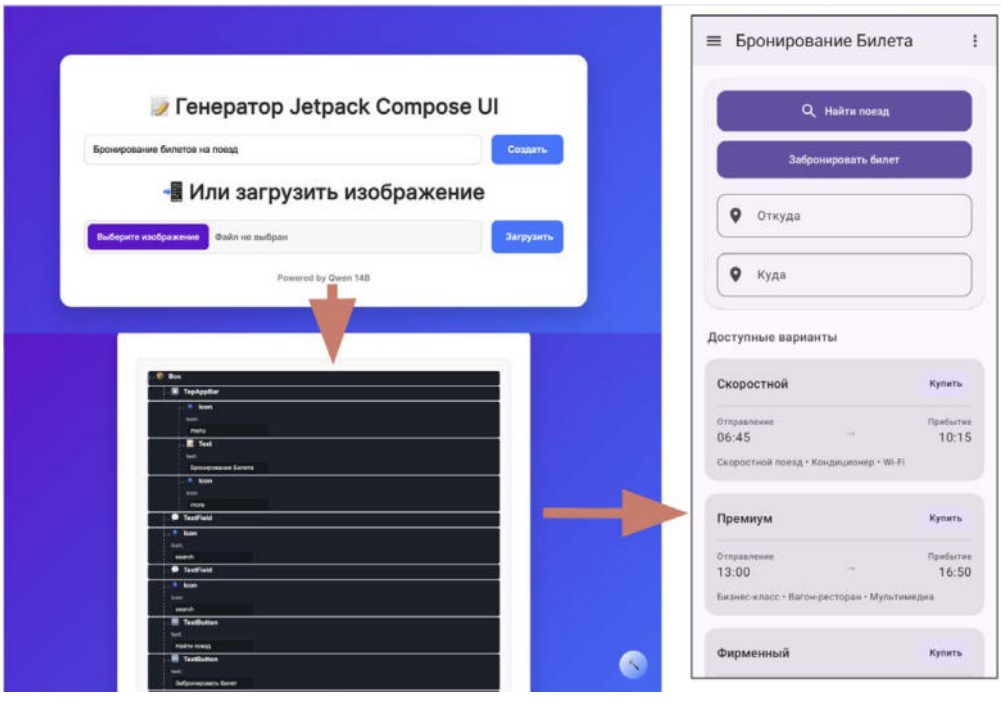


Рис. 2. Пример работы системы

На экран ввода текстового запроса вводится запрос «Бронирование билетов на поезд», затем полученный в результате генерацией первым модулем макет подтверждается пользователем. В результате представлен рендер полученного кода, в стандартной теме в Android Studio.

Результаты могут быть полезны как для крупных компаний, занимающихся разработкой приложений, так и для индивидуальных разработчиков, стремящихся улучшить пользовательский интерфейс своих продуктов.

Список литературы

1. Ларина, Т. И. Влияние интерфейса на восприятие пользователей на сайтах благотворительных организаций: социологический анализ цифровых практик социальной активности / Т. И. Ларина, К. А. Вахрушин // Цифровая социология. – 2025. – Т. 8, № 3. – С. 14–23.

2. Mohseni K. Investigating AI-Driven Adaptive Interfaces to Enhance User Engagement / K. Mohseni, N. Akbari // International Journal of Advanced Human Computer Interaction – 2025. – Vol. 1, No. 1. – P. 14–19.

3. Jetpack Compose UI App Development Toolkit: официальный сайт. – URL: https://developer.android.com/compose (дата обращения: 17.05.2026). – Текст: электронный.

4. Qwen2.5 – a Qwen Collection: сайт. – URL: https://huggingface.co/collections/Qwen/qwen25 (дата обращения: 17.05.2026). – Текст: электронный.

5. Semantic Annotations for the RICO dataset: сайт датасета. – URL: https://github.com/google-research-datasets/rico_semantics (дата обращения: 17.05.2026). – Текст: электронный.

6. Material Design 3 – Google's latest open source design system: сайт. – URL: https://m3.material.io/ (дата обращения: 17.05.2026). – Текст: электронный.

7. bigcode/the-stack: сайт датасета. – URL: https://huggingface.co/datasets/bigcode/the-stack (дата обращения: 17.05.2026). – Текст: электронный.

8. Unsloth Studio is a web UI for training and running open models: официальный сайт. – URL: https://github.com/unslothai/unsloth?locale=en-US (дата обращения: 17.05.2026). – Текст: электронный.

9. vikhyatk/moondream2: сайт. – URL: https://huggingface.co/vikhyatk/moondream2 (дата обращения: 17.05.2026). – Текст: электронный.

УДК 331.108

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАДРОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Галимарданов А.Р., магистрант;
Урядникова М.В., к.э.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0860-4186

DIGITALIZATION OF PERSONNEL PROCESSES IN THE DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Galimardanov A.R., Master's student;
Uryadnikova M.V., Candidate of Economics, Associate Professor, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0860-4186

Аннотация

В статье исследуется процесс цифровизации управления человеческим капиталом на предприятиях промышленного сектора в условиях дефицита инженерных и рабочих кадров. Применены методы сравнительного анализа HR-платформ, систематизации отраслевых практик и архитектурного моделирования. Раскрыта специфика кадровой службы в промышленном секторе, связанная с длительным производственным циклом, сложностью технологического процесса и жесткими требованиями охраны труда. Рассмотрены правовые основы кадрового электронного документооборота и ограничения его применения в цеховых условиях. Проведен сравнительный анализ HR-платформ по критериям архитектуры, аналитических возможностей и экосистемности. Представлено, что ни одна из платформ не обладает универсальностью, достаточной для выполнения всех функций при управлении персоналом. Обоснована необходимость построения композитной архитектуры цифрового HR-контура промышленного предприятия, включающей интеграцию моделей. Предложенная модель обеспечивает одновременное соответствие регуляторным требованиям РФ, учет отраслевой специфики промышленного производства и интеграцию передовых ИИ-технологий управления человеческим капиталом.

Ключевые слова: цифровизация кадровых процессов, промышленное предприятие, искусственный интеллект, охрана труда, управление талантами

Abstract

The article examines the process of digitalizing human capital management at industrial sector enterprises in the context of a shortage of engineering and skilled workers. The methods used include comparative analysis of HR platforms, systematization of industry practices, and architectural modeling. The specifics of the HR department in the industrial sector are revealed, related to the long production cycle, the complexity of the technological process, and the stringent requirements for occupational safety. The legal foundations of electronic personnel document management and the limitations of its application in workshop conditions are considered. A comparative analysis of HR platforms was conducted based on the criteria of architecture, analytical capabilities, and ecosystem compatibility. It is shown that none of the platforms possesses the universality required to perform all functions in personnel management. The necessity of building a composite architecture for the digital HR framework of an industrial enterprise, which includes the integration of models, has been substantiated. The proposed model ensures simultaneous compliance with the regulatory requirements of the Russian

Federation, consideration of the industry-specific features of industrial production, and integration of advanced AI technologies for human capital management.

Keywords: digitalization of HR processes, industrial enterprise, artificial intelligence, occupational safety, talent management

Введение

Промышленное производство остается одной из опор национальной экономики, и его развитие складывается под влиянием факторов технологического, финансового, организационного порядка. Кадровая составляющая среди них в последние годы пересматривается в сторону признания ее первостепенной значимости. Оборудование, технологии и капитал приводятся в движение работниками, от квалификации и заинтересованности которых зависит итог производственной деятельности. При сопоставимой технической оснащенности разница в результатах предприятий нередко объясняется состоянием кадровой работы [1].

Традиционные кадровые процессы, базирующиеся на изолированных учетных системах, не обеспечивают стратегической гибкости. В связи с этим актуализируется проблема выбора и интеграции цифровых инструментов, способных обеспечить не только юридический и операционный контур, но и контур развития талантов.

Цель данного исследования является разработка концепции и архитектурной модели цифровизации кадровых процессов для промышленного предприятия с учетом современных технологических трендов и требований цифрового суверенитета. Ключевым положением работы состоит в том, что современная цифровизация управления персоналом все больше ориентирована не на численном учете кадров, а на раскрытие, развитие и удержание талантов и способностей сотрудников как основного источника конкурентных преимуществ промышленного предприятия.

Специфика кадровых процессов промышленного предприятия

Кадровая работа на промышленном предприятии сопряжена с повышенными запросами к квалификации и организованности работников. При длительном производственном цикле и сложности технологических операций просчеты в подборе или расстановке кадров оборачиваются ощутимыми потерями, а качество продукции напрямую зависит от подготовки рабочих и инженерно-технического состава. Там, где велика доля уникального оборудования, утрата опытного специалиста восполняется медленно, а подготовка замены растягивается на месяцы. Отсюда устойчивый интерес отечественных исследователей к кадровому планированию применительно к промышленному производству [2].

За последние годы острота кадровой проблематики на производстве заметно выросла. Обрабатывающие производства держатся в числе отраслей с наибольшим количеством незакрытых вакансий; сложнее всего закрываются рабочие места станочников, сварщиков, наладчиков оборудования с числовым программным управлением, а вместе с ними – позиции инженерно-технических специалистов среднего звена. Положение осложняется возрастной структурой коллективов, где носители уникального производственного опыта приближаются к пенсионному возрасту, тогда как приток выпускников системы среднего профессионального образования компенсирует выбытие лишь частично. Прибавляется конкуренция за одних и тех же работников между гражданским машиностроением, предприятиями оборонного комплекса и строительством – при ней издержки на персонал растут быстрее выработки, и кадровые решения выходят за пределы компетенции кадровой службы, попадая в повестку руководства предприятия.

Связь кадровой работы с развитием предприятия проходит по нескольким каналам. Первый из них – производительность труда, при прочих равных выработка на одного работника выше там, где отлажены подбор, обучение и стимулирование. Второй канал пролегает через качество продукции, зависящее от квалификации и добросовестности исполнителей. Третий связан с обновлением производства: освоение новой техники и технологий выполня-

ется подготовленными работниками, а инертность персонала замедляет техническое перевооружение.

Отчетливее всего связь кадрового потенциала и конкурентоспособности прослеживается на отраслевом материале. В работах по металлургическому комплексу отмечается, что при новых условиях рынка – ограничениях по углеродному следу, ускоренной цифровизации, задачах импортозамещения – меняются запросы к подготовке высококвалифицированных кадров, а от состояния кадрового потенциала зависит устойчивость производственных процессов [3]. Предприятие с изношенным кадровым составом и слабой системой подготовки уступает конкурентам даже при сопоставимой технической базе. Характер влияния отдельных сторон кадрового потенциала на деятельность предприятия отражен в табл. 1.

Таблица 1

Стороны кадрового потенциала и характер их влияния на деятельность предприятия

Сторона кадрового потенциала	Проявление в деятельности предприятия
Квалификация и профессиональный опыт	Скорость освоения нового оборудования, доля брака
Стабильность коллектива, низкая текучесть	Сохранность производственного опыта, размер затрат на подбор
Мотивированность работников	Производительность труда, готовность к инициативе
Готовность к обучению	Приспособление к смене технологий
Укомплектованность кадрами нужной квалификации	Ритмичность выполнения производственной программы

Направления совершенствования кадровой работы, обсуждаемые в последние годы, объединяет переход от реагирования на уже сложившийся дефицит к упреждающему управлению. Стратегическое кадровое планирование строится на прогнозе потребности в работниках на среднесрочную перспективу с учетом сдвигов в производственной программе и на рынке труда; при сочетании с гибкими формами занятости расходы на персонал удается удерживать в разумных границах при сохранении надежности выполнения заказов [4]. При этом в мировой и отечественной управленческой практике наметился переориентир цифровизации управления персоналом с автоматизации административно-учетных функций на развитие талантов и способностей сотрудников.

Цифровизация кадровых процессов вошла в практику российских предприятий через информационные системы управления персоналом, инструменты кадровой аналитики, автоматизацию подбора. Среди освоенных направлений в отечественных исследованиях называют применение аналитических инструментов при принятии кадровых решений, автоматизацию учета, элементы искусственного интеллекта в подборе [5]. Внедрение цифровых инструментов на промышленном предприятии сопряжено с трудностями – от нехватки подготовленных специалистов до сопротивления части персонала, – и итог во многом определяется продуманностью перехода.

Правовая опора для перевода кадровых документов в электронный вид сложилась к 2022 году. Статьями 22.1–22.3 Трудового кодекса, введенными Федеральным законом от 22 ноября 2021 г. № 377-ФЗ, урегулирован кадровый электронный документооборот: трудовые договоры, дополнительные соглашения, приказы и уведомления оформляются в информационной системе работодателя без бумажного дубликата [7]. Переход добровольный с обеих сторон – работник вправе отказаться от электронного взаимодействия без неблагоприятных последствий для себя, из-за чего на крупном заводе смешанный режим ведения документов

сохраняется годами. Часть документов законодатель прямо вывел за пределы электронного оборота: приказ об увольнении, акты о несчастных случаях на производстве, документы об инструктаже по охране труда с личной подписью работника. Оговорка для промышленного предприятия ощутима – наиболее нагруженный именно в цеховых условиях участок кадровой работы остается бумажным.

Набор освоенных инструментов удобно рассматривать на материале отраслевого сопоставления HR-практик крупного бизнеса, куда наряду с финансовым сектором, ИТ и ритейлом включена черная металлургия [8]. В Новолипецком металлургическом комбинате онлайн-модули соседствуют с обучением под руководством инструкторов, а отдельным направлением стало трехмерное позиционирование персонала – отслеживание перемещений работников и состояния оборудования в реальном времени. Логика сочетания читается ясно: цифровой слой надстраивается над сохраненной производственной практикой, оставляя ее ядро прежним. К типовому же контуру относят системы отслеживания кандидатов, порталы самообслуживания с доступом к расчетным листкам и заявлениям, автоматизированные тренажеры для выбора карьерной траектории, генерацию отчетности по вовлеченности и потребности в переаттестации. Соотношение направлений цифровизации и ограничений, с которыми внедрение сталкивается на производстве, приведено в таблице 2.

Таблица 2

Направления цифровизации кадровых процессов и ограничения их внедрения на промышленном предприятии

Направление	Применяемые инструменты	Ограничения в условиях производства
Кадровый учет и документооборот	Электронный документооборот, усиленная электронная подпись, обмен с расчетными системами	Согласие работника на переход; сохранение бумажной формы для документов по охране труда
Подбор персонала	Системы отслеживания кандидатов, автоматический разбор резюме, чат-боты первичного отсева	Слабая применимость к массовому найму рабочих профессий, где отклик идет вне формата резюме
Обучение и аттестация	Онлайн-курсы, тренажеры операций, симуляторы работы на конкретном оборудовании	Стоимость разработки под редкие станки и агрегаты; необходимость очной отработки навыка
Кадровая аналитика	Расчет текучести по подразделениям, прогноз выбытия, оценка укомплектованности	Разнородность учетных систем цехов, пробелы в накопленной истории кадровых событий
Мотивация и оценка	Автоматизированный расчет показателей результативности, порталы обратной связи	Затрудненная привязка измеримых показателей к труду вспомогательных подразделений

Барьеры внедрения на заводе отличаются от офисных. Уход зарубежных поставщиков программного обеспечения в 2022 г. оставил часть предприятий с законсервированными кадровыми контурами и вынудил переносить данные на отечественные платформы; при миграции нередко страдала накопленная история кадровых событий – та самая база, на которой строится любая аналитика. Второе затруднение организационного порядка: у рабочего за станком нет ни служебной почты, ни постоянного доступа к компьютеру, поэтому электронное взаимодействие упирается в оснащение цехов терминалами и в готовность работников пользоваться личным смартфоном для служебных надобностей. Третье касается качества дан-

ных – при разнородном учете в подразделениях сводные показатели текучести и укомплектованности собираются с погрешностью, при которой выводы аналитики теряют опору. Из отраслевых обзоров выводится осторожная последовательность действий: сперва наиболее регулярные и формализованные операции – табельный учет, оформление отпусков, расчет доплат, – и лишь затем оценочные и прогнозные контуры, включая контур развития талантов.

Мотивационная сторона сохраняет самостоятельное значение. В отечественной практике формальные правила премирования встречаются далеко не на каждом предприятии, а система оплаты труда нередко слабо связана с результатами. Построение стимулирования на ключевых показателях эффективности (KPI) рассматривается как способ увязать вознаграждение работника с его вкладом в общий итог [6]. При аккуратной настройке у работника появляются понятные ориентиры, а у руководства – основания для дифференциации оплаты. Однако в контексте развития талантов мотивация должна включать не только материальные KPI, но и нематериальные стимулы, такие как признание достижений, возможности карьерного роста, участие в инновационных проектах, что требует соответствующего инструментария в цифровых HR-системах.

Рассмотрим сравнительную матрицу технологических возможностей HR-платформ как инструменты обоснования выбора архитектурных решений для промышленного предприятия (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительная матрица технологических возможностей управления кадровыми процессами

Платформа	Архитектура и AI	Аналитика	Экосистемность
Workday	Облачная, единая модель данных; ML для прогнозирования текучести, генеративный ИИ-ассистент, онтология навыков	Глубокая предиктивная аналитика, HR-аналитика, дашборды в реальном времени	Высокая (финансы + HR + планирование в едином контуре); открытые API
1С: ЗУП Корп	Клиент-серверная / веб-клиент; встроенные механизмы 1С, интеграция с ИИ-сервисами через расширения	Операционная отчетность, регламентированные формы, дашборды на СКД	Высокая внутри экосистемы 1С; интеграция с ЕИС, СФР, ФНС, ЭДО
Websoft	Микросервисная архитектура, поддержка SCORM/xAPI/cmi5, ИИ для адаптивных траекторий обучения	Анализ эффективности обучения (ROI), матрицы компетенций, контроль сроков аттестаций	Средняя (интеграции по API с Core HR, ERP, LXP); VR/AR-тренажеры
Neon HRM 2.0	Микросервисная облачная архитектура; ИИ-модули для анализа навыков, подбора внутренних кандидатов, прогнозирования производственных рисков	Производственная аналитика, связь HR-метрик с OEE, предиктивные модели по ОТ и ПБ	Высокая (интеграция с MES, ERP, системами охраны труда); отраслевая специфика
Talantix	Low-code/no-code платформа, модульная архитектура; NLP для анализа открытых ответов, ИИ-рекомендации ИПР	Оценка 360 градусов, анализ вовлеченности, кадровый резерв, пульсовые опросы	Средняя (коннекторы к 1С, Active Directory, мессенджерам); маркетплейс модулей

Окончание табл. 3

Платформа	Архитектура и AI	Аналитика	Экосистемность
Alfa HRMS	Модульная микросервисная архитектура; ИИ-ассистент для сотрудников и руководителей, автоматизация онбординга	HR-аналитика, анализ вовлеченности, предиктивные модели текучести	Высокая (внутри экосистемы Альфа); интеграция с корпоративными сервисами
Mirapolis	Облачная платформа, мобильный доступ; ИИ-рекомендации контента, геймификация	Анализ прохождения курсов, эффективность микрообучения, отчеты для руководителей	Средняя (интеграции с HR-системами, корпоративными порталами); библиотека контента

Анализируя матрицу технологической возможности, можно увидеть преимущества каждой платформы. К примеру, Workday остается мировым эталоном по HR-аналитике, но недоступен для использования в России. Его больше используют при проектировании отечественных аналогов. К оптимальным моделям можно включить 1С: ЗУП Корп, который имеет юридическую основу, Neon HRM 2.0 и Alfa HRMS, учитывающие отраслевой контур по управлению человеческим капиталом, другие платформы учитывают обучение и аттестацию, таланты и способности сотрудников.

При этом ни одна из рассмотренных платформ не обладает универсальностью, достаточной для закрытия полного цикла управления кадровых процессов в промышленности. Если их интегрировать в одну единую оптимальную модель, то она бы обеспечила одновременно соответствие регуляторным требованиям РФ, отраслевую специфику промышленного производства и доступ к передовым ИИ-технологиям управления человеческим капиталом.

Заключение

Кадровый вопрос сегодня стоит особенно остро во всех отраслях экономики, но критичнее всего он проявляется в промышленности. Здесь традиционно высоки требования к квалификации рабочих и инженерно-технических специалистов, а подготовка замены уникальным носителям производственного опыта занимает месяцы. Становится заметно, что промышленные предприятия постепенно поднимают планку цифровизации HR-процессов, смещая фокус с численного учета сотрудников на развитие их талантов и способностей. Цифровизация кадровых процессов, объединяющая юридическую основу, отраслевые HCM-платформы, модули адаптивного обучения и инструменты оценки талантов, – это подход, который позволит промышленным компаниям формировать устойчивое будущее на основе развития человеческого капитала и технологических инноваций.

Список литературы

1. Вальдес, Т. И. Теоретико-методические основы кадрового планирования на промышленных предприятиях / Т. И. Вальдес // Московский экономический журнал. – 2025. – Т. 10, № 1. – С. 172–185.

2. Логунова, И. В. Методический подход к исследованию системы кадрового планирования предприятия / И. В. Логунова // Экономинфо. – 2023. – Т. 18, № 1. – С. 12–18.

3. Островская, Н. В. Кадровый потенциал металлургических предприятий как фактор конкурентоспособности / Н. В. Островская, А. Н. Алексеева // Лидерство и менеджмент. – 2024. – Т. 11, № 3. – С. 1017–1026.

4. Ткач, А. Н. Стратегическое планирование численности и расходов на персонал / А. Н. Ткач // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2026. – № 1. – С. 266–270.

5. Черняков, М. К. Цифровизация управления персоналом: современные тенденции и вызовы для российских предприятий / М. К. Черняков, И. А. Чернякова // Сибирский журнал экономических и бизнес-исследований. – 2025. – Т. 14, № 2. – С. 166–186.

6. Баранова, Э. С. Повышение эффективности системы мотивации персонала на основе внедрения программы KPI-Drive / Э. С. Баранова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 70–84.

7. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (в редакции Федерального закона от 22.11.2021 № 377-ФЗ). – Ст. 22.1–22.3.

8. Авдеенков, В. А. Цифровизация HR-процессов в российских организациях: современное состояние и перспективы / В. А. Авдеенков, А. В. Андреев, В. И. Бунькин, Ф. А. Мастяев // Вопросы инновационной экономики. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 271–282.

9. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (в редакции Федерального закона от 09.11.2024 № 381-ФЗ). – Ст. 351.8.

УДК 004.42

ОРКЕСТРАТОР ТОКОВЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ УСТАНОВОК ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННЫХ НАСОСОВ (УШГН)

Гарипов Н.Р. ведущий бизнес-аналитик отдела аналитики;
ORCID: 0009-0006-8735-0442;
E-mail: GaripovNR@tatneft.tatar;
Даумов Р.А., начальник отдела аналитики;
ORCID: 0009-0006-9433-2808;
E-mail: DaumovRA@tatneft.ru;
Рамеев Д.Р., бизнес-аналитик 1 категории отдела аналитики управления разработки программных продуктов ООО «ТатИТнефть», г. Иннополис, Россия;
ORCID: 0009-0001-3239-0715;
E-mail: RameevDR@tatneft.tatar

CURENT LOAD ORCHESTRATOR FOR SUCKER ROD PUMPS (USHGN)

Garipov N.R., leading business analyst of the analytics department;
ORCID: 0009-0006-8735-0442;
E-mail: GaripovNR@tatneft.tatar;
Daumov R.A., head of analytics department;
ORCID: 0009-0006-9433-2808;
E-mail: DaumovRA@tatneft.ru;
Rameev D.R., leading business analyst of the analytics department of the software product development department of TatITneft LLC, Innopolis, Russia;
ORCID: 0009-0001-3239-0715;
E-mail: RameevDR@tatneft.tatar

Аннотация

В статье рассматривается проблема пиковых токовых нагрузок при эксплуатации куста скважин, оборудованных установками штанговых глубинных насосов (УШГН) и запитанных от комплексной трансформаторной подстанции (КТП) и воздушной линии электропередач (ЛЭП). Показано, что синхронная работа нескольких станков-качалок в фазе подъема штанг приводит к суммированию пиков активного тока, создавая критическую нагрузку на электрооборудование и снижая его надежность. Предложена концепция «оркестратора токовых нагру-

зок» – интеллектуальной системы управления, обеспечивающей асинхронное распределение фаз работы группы станков-качалок на кусте. Описана архитектура решения, включающая блок сбора телеметрических данных, модуль прогнозирования циклограмм нагрузок и алгоритм оптимального сдвига фаз. Моделирование для куста из 6 скважин подтверждает снижение пиковых токов на 37,5% и уменьшение потерь в линии на 47% за цикл токовой нагрузки. Обоснована экономическая эффективность внедрения оркестратора в условиях зрелых месторождений с высокой плотностью кустового фонда, где мощность трансформаторных подстанций достигает предела, а конфигурация электросети остается практически неизменной.

Ключевые слова: оркестратор токовых нагрузок, УШГН, станок-качалка, пиковые нагрузки, асинхронный запуск, КТП, реактивная мощность, интеллектуальное управление, частотное регулирование

Abstract

The article addresses the problem of peak current loads during the operation of a cluster of wells equipped with sucker rod pump units (SRPU) and powered by a single complete transformer substation (CTS). It is shown that synchronous operation of several pumping units in the rod lifting phase leads to summation of active current peaks, creating critical loads on electrical equipment and reducing its reliability. The concept of a «current load orchestrator» is proposed – an intelligent control system that ensures asynchronous phase distribution of a group of pumping units within a well cluster. The solution architecture is described, including a telemetry data collection unit, a load cycle prediction module, and an optimal phase shift algorithm. Results of mathematical modeling for a cluster of 6 wells are presented, confirming a 37.5% reduction in peak current loads and a 47% reduction in power losses in the line. The economic efficiency of implementing the orchestrator in mature fields with high cluster density is substantiated, where the power of transformer substations reaches its limit while the power supply configuration remains practically unchanged.

Keywords: current load orchestrator, RPU, pumping unit, peak loads, asynchronous startup, CTS, reactive power, intelligent control, frequency control

1. Введение

Повышение энергоэффективности нефтедобычи является стратегическим приоритетом для нефтегазовых компаний в условиях месторождений на поздней стадии разработки и роста доли трудноизвлекаемых запасов. Одним из ключевых резервов снижения эксплуатационных затрат является оптимизация электропотребления механизированного фонда скважин [4], значительную долю которого составляют установки штанговых глубинных насосов (УШГН) со станками-качалками.

Циклический характер нагрузки электропривода УШГН создает выраженные пики активного тока в фазе подъема колонны штанг, а при опускании штанги асинхронный двигатель переходит в генераторный режим [3], генерируя реактивные токи, негативно влияющие на качество электроэнергии и надежность оборудования. В ситуации, когда несколько станков-качалок на одном кусте работают синхронно, пиковые токовые нагрузки суммируются, создавая критическую загрузку КТП, ЛЭП и всей системы электроснабжения. При этом количество скважин на кусте растет, соответственно увеличивается электропотребление, а конфигурация электросети и ключевое оборудование остаются практически неизменными, что приводит к достижению предела мощности трансформаторных подстанций и росту рисков отказов и простоев добывающих скважин.

Традиционный подход к решению данной проблемы заключается в выборе электрооборудования с запасом по току, что ведет к неоправданному завышению установленной мощности трансформаторов и автоматических выключателей. Альтернативным решением является управление фазами работы станков-качалок для распределения пиковых нагрузок во времени – так называемая «оркестрация» токовых нагрузок.

В рамках настоящей работы предлагается концепция интеллектуальной системы «Оркестратор токовых нагрузок УШГН», предназначенной для автоматического управления положением балансиров группы станков-качалок на кусте с целью снижения пиковых токовых нагрузок на КТП, ЛЭП и повышения надежности электрооборудования без снижения дебита скважин (рис. 1).



Рис. 1. Принцип действия интеллектуальной системы
«Оркестратор токовых нагрузок УШГН»

2. Анализ проблемы пиковых токовых нагрузок

2.1. Цикличность нагрузки электропривода УШГН

Электропривод станка-качалки работает в циклическом режиме, соответствующем возвратно-поступательному движению колонны штанг. В течение одного цикла качания нагрузка на валу электродвигателя изменяется по сложному закону, определяемому:

– весом колонны штанг в жидкости;
– весом столба добываемой жидкости;
– степенью уравновешенности станка-качалки;
– динамическими процессами в колонне штанг.

Наибольшая нагрузка на электродвигатель приходится на фазу подъема колонны штанг, когда двигатель преодолевает вес штанг и столба жидкости. В этот момент токовая нагрузка достигает пиковых значений, существенно превышающих среднеквадратичные. При движении колонны штанг вниз под собственным весом асинхронный двигатель может переходить в генераторный режим, что сопровождается возникновением реактивных токов в электросети.

2.2. Суммирование пиковых нагрузок при синхронной работе

При эксплуатации куста скважин от одной КТП возникает проблема суммирования пиковых токовых нагрузок. Если несколько станков-качалок на кусте работают синхронно (с совпадением фаз подъема штанг), их пиковые токовые нагрузки складываются, создавая:

2.2.1. Перегрузку КТП – суммарная пиковая мощность может превышать номинальную мощность трансформатора, что создает риск аварийных отключений и выхода из строя автоматических выключателей.

2.2.2. Дополнительные потери электроэнергии – пиковые токи увеличивают потери в линиях электропередачи и обмотках трансформатора пропорционально квадрату тока (закон Джоуля-Ленца I^2R). Помимо перегрузки трансформаторов это приводит к локальному перегреву проводов, ускорению старения алюминиевых и сталеалюминиевых проводов, увеличению их провисания и риску обрывов ЛЭП. Кроме того, повышенная температура проводов увеличивает активное сопротивление линии, что дополнительно повышает потери и снижает пропускную способность фидера. Таким образом, управление пиковыми токами напрямую влияет на надёжность не только КТП, но и всей распределительной сети.

2.2.3. Снижение срока службы оборудования – термические и электродинамические нагрузки, возникающие при пиковых токах, ускоряют старение изоляции обмоток двигателей и трансформаторов, повышают риск выхода оборудования из строя.

2.2.4. Ухудшение качества электроэнергии – реактивные токи, возникающие в генераторном режиме, вызывают искажение формы напряжения в сети и снижение коэффициента мощности.

2.2.5. Экономические потери – пиковые токовые нагрузки ведут к нарушению электроснабжения, что в свою очередь приводит к простоям скважин и недобору добычи, росту расходов на ремонт КТП, ЛЭП и кабельных линий, а также к штрафам за нарушение режимов электроснабжения.

2.3. Вероятность синхронной работы

Вопреки распространенному мнению о «ничтожно малой» вероятности синхронной работы станков-качалок на одном фидере, практика показывает, что синхронизация возникает достаточно часто по следующим причинам [1]:

– Станки-качалки на одном кусте часто имеют одинаковую или близкую частоту качаний, так как работают на схожих по характеристикам скважинах;

– После кратковременных отключений электроэнергии все двигатели запускаются одновременно;

– При использовании частотно-регулируемых приводов частота может быть задана одинаковой для всех станков.

Таким образом, проблема суммирования пиковых нагрузок является не гипотетической, а вполне реальной и требует системного решения. Отсутствие свободного резерва мощности ограничивает подключение новых энергоемких потребителей, что делает интеллектуальное управление токовыми нагрузками необходимым условием стабильной и экономичной работы группы станков-качалок без замены инфраструктуры.

3. Концепция оркестратора токовых нагрузок

3.1. Принцип работы

Оркестратор токовых нагрузок представляет собой интеллектуальную систему управления группой станков-качалок, запитанных от КТП, ЛЭП, обеспечивающую асинхронное распределение фаз их работы. Основная идея заключается в том, чтобы пиковые токовые нагрузки одних станков-качалок совпадали по времени с фазами пониженного энергопотребления (опускание штанг) других.

Принцип работы оркестратора базируется на следующих положениях:

1. Каждый станок-качалка имеет индивидуальную циклограмму токовой нагрузки, определяемую его конструктивными и режимными параметрами.

2. Путем управления положением балансира (сдвигом фаз цикла) можно изменять моменты наступления пиковых нагрузок.

3. Оптимальное распределение фаз достигается, когда токовые пики одних станков совмещаются со спадами других, обеспечивая минимальную суммарную пиковую нагрузку на КТП и ЛЭП.

3.2. Мастер-алгоритм работы оркестратора в составе ИС «АСДКУ»

Алгоритм ежедневно синхронизирует время контроллеров, группирует скважины по частоте качаний, отслеживает интервалы между пиками тока. При сокращении интервала ниже порога (например, 15 с) он кратковременно повышает частоту вращения двигателя на 0,5–1,5 Гц через ПЧ, увеличивая разрыв между пиками, затем возвращает частоту к базовой. Вмешательство адаптивно и не меняет плановый дебит.

3.3. Учет динамических процессов

Важной особенностью алгоритма является учет динамических процессов при изменении фазы цикла. Резкое изменение фазы может привести к недопустимым динамическим нагрузкам на механические элементы станка-качалки. Поэтому управляющие сигналы формируются с ограничением скорости изменения фазы, обеспечивая плавный переход к оптимальному распределению.

Кроме того, алгоритм адаптируется к изменяющимся условиям работы скважин – при изменении динамического уровня, обводненности продукции или газового фактора циклограмма нагрузки может меняться, что требует пересчета оптимального распределения фаз.

4. Математическое моделирование

4.1. Модель электропривода УШГН

Для эффективности предложенного подхода была разработана математическая модель электропривода УШГН [5], включающая: асинхронный двигатель, кинематическую цепь «редуктор – балансир», нагрузку на шток и станцию управления с регулировкой фазы.

Модель позволяет получать диаграммы токовых нагрузок для различных режимов работы и сдвигов фаз (рис. 2, 3).

4.2. Результаты моделирования

Моделирование проводилось для куста из 6 скважин, оборудованных станками-качалками с электродвигателями мощностью 18 кВт, 380 В, и запитанных от одной КТП.

В базовом сценарии (синхронная работа всех 6 станков-качалок) суммарная пиковая токовая нагрузка составляла 240 А.

При внедрении оркестратора с оптимальным распределением фаз суммарная пиковая нагрузка снизилась до 150 А.

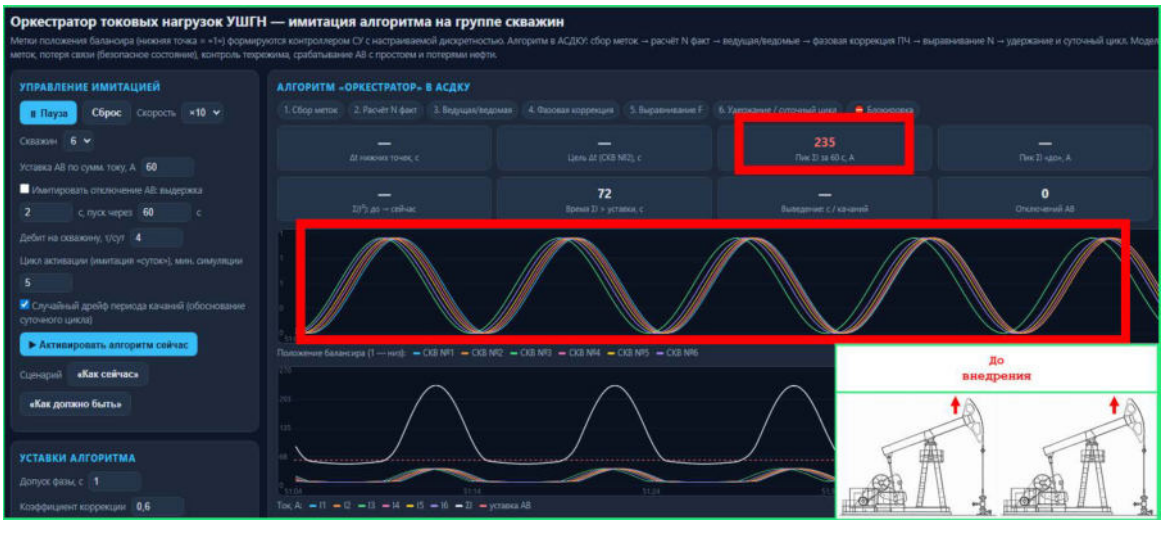


Рис. 2. Эмулятор работы УШГН без алгоритма
(наложение пиков и образование максимума тока)



Рис. 3. Эмулятор работы УШГН с алгоритмом (выравнивание токовых нагрузок)

Ключевые результаты моделирования:

– Снижение пикового тока на 37,5% (с 240 А до 150 А) – этого достаточно, чтобы уйти от порога срабатывания автоматических выключателей и предотвратить отключения фидера;

– Сокращение потерь электроэнергии в линии на 47% за цикл токовой нагрузки – прямой экономический эффект за счет уменьшения нагрева кабелей и трансформатора (потери пропорциональны квадрату тока);

– Повышение коэффициента мощности – за счет того, что реактивная составляющая от двигателей в режиме спуска частично потребляется двигателями, работающими в режиме подъема (эффект «внутригрупповой компенсации»);

– Предотвращение аварийных простоев – и, как следствие, сохранение добычи нефти.

Таким образом, даже на примере 6 скважин эффект от регулировки очевиден. Масштабирование на куст из 10-20 скважин с учетом повышения отказоустойчивости ЛЭП даст еще более значимый результат.

4.3. Влияние на реактивную мощность

Дополнительным положительным эффектом оркестрации является снижение реактивной мощности в сети. При асинхронной работе часть станков-качалок находится в генераторном режиме (опускание штанг), генерируя реактивную мощность, которая может потребляться другими станками, находящимися в двигательном режиме (подъем штанг) возникает эффект внутригрупповой компенсации [2]. Это приводит к:

– снижению суммарной реактивной мощности, потребляемой от КТП;

– повышению коэффициента мощности ($cos\ \varphi$) на вводе КТП;

– снижению токовой нагрузки на трансформатор;

– повышению надежности всей линии электропередач.

По расчетам, внедрение оркестратора позволяет повысить $cos\ \varphi$ на 0,05-0,10, что особенно важно для предприятий, где средний коэффициент мощности составляет 0,67-0,80.

5. Техническая реализация

5.1. Аппаратная часть

Для реализации оркестратора токовых нагрузок требуется следующее оборудование:

1. Станции управления УШГН с возможностью внешнего управления фазой цикла. Современные станции управления имеют интерфейсы RS-485, Modbus или Ethernet для ин-

теграции с системами верхнего уровня. Номинальный ток станций должен соответствовать параметрам электродвигателей.

2. Датчики положения головной части балансира – для точного определения фазы цикла каждого станка-качалки.

3. Контроллер оркестратора – программируемый логический контроллер (ПЛК) с достаточной вычислительной мощностью для решения задачи оптимизации в реальном времени.

4. Система телеметрии – датчики тока, напряжения, температуры.

5. Каналы связи – для обмена данными между контроллером оркестратора и станциями управления.

5.2. Программная часть

Программное обеспечение оркестратора включает:

1. Модуль сбора и первичной обработки телеметрических данных;

2. Модуль идентификации циклограмм нагрузок;

3. Модуль оптимизации распределения фаз (мастер-алгоритм);

4. Модуль формирования управляющих воздействий;

5. Модуль визуализации и человеко-машинного интерфейса (АРМ технолога).

АРМ технолога предоставляет интуитивно понятный интерфейс для мониторинга процесса оркестрации, отображения текущих токовых нагрузок, фазовых сдвигов и прогнозируемого эффекта. Система автоматически генерирует оповещения при отклонениях от оптимальной траектории управления.

5.3. Интеграция с существующими системами

Оркестратор интегрируется в существующую инфраструктуру управления кустом скважин:

– на уровне сбора данных – с существующей системой телеметрии;

– на уровне управления – со станциями управления УШГН;

– на уровне представления – с АРМ технолога и диспетчерской системой.

Такая интеграция позволяет использовать оркестратор как надстройку над существующими системами автоматизации, не требуя их кардинальной замены.

5.4. Предложенный оркестратор работает в составе группы скважин, запитанных от одного фидера. Важной особенностью является его способность адаптироваться к изменению состава работающих скважин. При аварийной остановке или выводе в ремонт одной из скважин алгоритм автоматически пересчитывает оптимальное распределение фаз для оставшегося числа станков-качалок, исключая наложение пиков и обеспечивая сохранение эффекта снижения нагрузки на КТП и ЛЭП. При повторном запуске скважины система плавно встраивает её в общий график нагрузок, избегая переходных перегрузок. Это обеспечивает преемственность технологии и высокую живучесть системы управления даже при нестабильной работе отдельных элементов куста скважин.

6. Экономическая эффективность

6.1. Снижение затрат на электроэнергию

Снижение пиковых токовых нагрузок и суммарных потерь электроэнергии обеспечивает прямой экономический эффект. При снижении пикового тока на 37,5% потери электроэнергии в линиях и трансформаторах за цикл токовой нагрузки снижаются на 47% (потери пропорциональны квадрату тока). Для куста из 6 скважин с суммарным годовым электропотреблением порядка 1 млн кВт·ч экономия электроэнергии может составить 9,5 тыс. кВт·ч в год.

6.2. Увеличение срока службы оборудования

Снижение пиковых нагрузок и термических воздействий на обмотки двигателей и трансформаторов позволяет увеличить срок их службы. Частые перегрузки и тепловые удары сокращают ресурс силового оборудования, повышают риск аварий. Снижение аварийности КТП и ЛЭП дает существенный экономический эффект. По оценкам, применение интел-

лектуального управления нагрузкой позволяет увеличить срок службы электрооборудования на 15-20% [7]. Снижение среднеквадратичной нагрузки на двигатель за цикл качания на 10% увеличивает срок его службы.

6.3. Снижение капитальных затрат

Возможность снижения пиковых нагрузок позволяет при проектировании новых кустовых площадок выбирать КТП меньшей мощности без снижения надежности электроснабжения [6]. Это дает экономию капитальных затрат на этапе строительства. Решение реализуется как программно-аппаратный комплекс поверх существующей инфраструктуры, без замены КТП, с поэтапным внедрением модулей и адаптацией алгоритмов под разные группы станков-качалок.

6.4. Срок окупаемости

Ориентировочный срок окупаемости системы оркестрации для куста из 6 скважин составляет 8 лет (с учётом оснащения станков-качалок датчиками положения балансира), за счет экономии электроэнергии и снижения затрат на обслуживание и ремонт электрооборудования. Пилотный проект и тиражирование разбиваются на этапы с общим горизонтом 1-2 года, что обеспечивает управляемость рисков, оценку экономического эффекта и планомерное снижение операционных затрат.

7. Заключение

В статье предложена концепция «Оркестратора токовых нагрузок УШГН» – интеллектуальной системы управления группой станков-качалок на кусте скважин, запитанных от КТП и ЛЭП, обеспечивающей асинхронное распределение фаз их работы для снижения пиковых токовых нагрузок.

Основные результаты работы:

1. Выявлена и обоснована проблема суммирования пиковых токовых нагрузок при синхронной работе нескольких станков-качалок на одном кусте. Показано, что рост количества скважин при неизменной конфигурации электросети приводит к достижению предела мощности КТП и росту рисков отказов ЛЭП.

2. Разработана концепция оркестратора токовых нагрузок, основанная на управлении фазами циклов работы станков-качалок.

3. Предложена архитектура системы, включающая блок сбора данных, модуль прогнозирования циклограмм, алгоритмический модуль оптимизации и модуль управления. Решение реализуется как программно-аппаратный комплекс поверх существующей инфраструктуры без замены КТП и строительства дополнительных ЛЭП.

4. Моделирование подтвердило снижение пикового тока на 37,5% и потерь на 47% за цикл токовой нагрузки, повышение cos φ за счёт внутригрупповой компенсации.

5. Обоснована экономическая эффективность внедрения: снижение потерь электроэнергии, увеличение срока службы оборудования на 15-20%, предотвращение аварийных простоев и сохранение добычи нефти. Срок окупаемости системы составляет 8 лет.

Внедрение оркестратора токовых нагрузок УШГН является важным шагом на пути к созданию «интеллектуальных» кустовых площадок с оптимальным электропотреблением и повышенной надежностью электрооборудования, позволяющим снять ограничения по мощности и обеспечить стабильную работу растущего фонда скважин без замены инфраструктуры.

Список литературы

1. Накатаев, А. А. Энергоэффективное управление группой штанговых глубинных насосных установок / А. А. Накатаев, А. М. Зюзев, К. Е. Нестеров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 4. – С. 146-153.

2. Ларин, М. Ю. Снижение максимального энергопотребления группы штанговых глубинных насосов с мехатронным приводом за счет оптимизации алгоритма управления / М. Ю. Ларин, А. Н. Волков // E3S Web of Conferences. – 2021. – Т. 326. – С. 00037.

3. Ярыш, Р. Ф. Исследование режимов работы частотно-регулируемого электропривода станка-качалки / Р. Ф. Ярыш, А. Р. Гарифуллина, Р. И. Гарифуллин, А. Н. Якунин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 11. – С. 3-11.

4. Солодкий, Е. М. Влияние системы управления электропривода на энергоэффективность работы скважинной штанговой насосной установки / Е. М. Солодкий, В. П. Казанцев, А. В. Худорожков, А. В. Чурин // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 2. – С. 50-53.

5. Зюзев, А. М. Исследование энергетических показателей частотно-регулируемых электроприводов штанговых глубинно-насосных установок / А. М. Зюзев, В. В. Ипполитов // Новые информационные технологии в образовании. – Екатеринбург: РГППУ, 2018. – С. 69-74.

6. Ефимов, Е. С. Повышение устойчивости работы частотно-регулируемого асинхронного привода штанговой насосной установки с использованием повышающего преобразователя и накопителя энергии / Е. С. Ефимов, М. С. Ершов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2025. – № 1 (66). – С. 10-18.

7. Ившин, И. В. Анализ развития электроприводов для станков-качалок нефти по результатам патентного поиска / И. В. Ившин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т. 21, № 6. – С. 50-58.

УДК 332.1, 338.24.01, 338.23

ЦИФРОВОЙ СЛЕД: ОТ ДАННЫХ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ

Гарипова Е.Н., к.э.н., доцент Института управления, экономики и финансов, кафедра общего менеджмента ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-9375-4634;
E-mail: Garipova_E_N@list.ru

DIGITAL FOOTPRINT: FROM DATA TO EVIDENCE

Garipova E.N., Cand. Sci. (Economics), Associate Professor, Institute of Management, Economics, and Finance, Department of General Management, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-9375-4634;
E-mail: Garipova_E_N@list.ru

Аннотация

Цифровые институты все чаще встраиваются в региональную политику. Они генерируют значительные объемы данных о поведении бизнеса и граждан, однако наличие таких данных само по себе не говорит о том, работает ли институт. В статье рассматривается, как перейти от наблюдения за цифровым следом к строгому доказательству эффективности института. Выделены несколько измерений, которые необходимо учитывать при такой оценке: вклад института в изменения, распределение эффекта по территории и его устойчивость во времени. Каждое из этих измерений отражает лишь часть реальности, поэтому оценка должна строиться на их совмещении. Показано, что цифровой след является ценным источником данных, но требует аналитической рамки, отделяющей содержательные сигналы от случайного шума. Предложенный подход может быть полезен региональным органам власти при обосновании цифровых решений и корректировке стимулирующих механизмов.

Ключевые слова: цифровая социальная индексация, цифровые институты, оценка эффективности, цифровой след, доказательная политика, региональная политика, координация, устойчивость, пространственный анализ.

Abstract

Digital institutions are increasingly embedded in regional policy. They generate large volumes of data on the behaviour of businesses and citizens, but the mere availability of such data does not prove that an institution works. The article examines how to move from observing a digital footprint to rigorous proof of an institution's effectiveness. Several dimensions are identified that must be considered in such an evaluation: the institution's contribution to observed changes, the spatial distribution of effects, and their stability over time. Each of these dimensions captures only part of reality, so evaluation should be built on combining them. It is shown that the digital footprint is a valuable source of data but requires an analytical framework that separates meaningful signals from random noise. The proposed approach can be useful for regional authorities in justifying digital decisions and adjusting incentive mechanisms.

Keywords: digital social indexing, digital institutions, effectiveness evaluation, digital footprint, evidence-based policy, regional policy, coordination, sustainability, spatial analysis

Введение

Цифровые институты становятся привычным элементом регионального управления. Они обещают увязать поведение бизнеса, граждан и государства в единый контур, снизить административные издержки и сделать стимулы более адресными. Однако после запуска такого института редко удается уверенно сказать, приносит ли он заявленный результат. Между самим фактом внедрения и доказательством его полезности сохраняется разрыв, который часто игнорируется.

Особенно заметен этот разрыв в случае координационных институтов. Они не вводят запретов и не предписывают жестких нормативов, а действуют через стимулы, меняя поведение агентов постепенно. Эффект такого института не сводится к одному отчетному показателю: он распределен во времени и в пространстве, зависит от среды и от готовности самих агентов. Классические инструменты – KPI, бюджетные отчеты, рейтинги – фиксируют лишь отдельные срезы и не показывают, что именно институт стал причиной изменений.

Цифровая социальная индексация дает здесь наглядный пример. Она порождает поток данных о поведении людей и организаций, но сам по себе этот поток не является доказательством. Данные фиксируют факты, но не объясняют причин. Чтобы превратить их в доказательство, нужна аналитическая рамка, отделяющая содержательные сигналы от случайного шума.

Настоящая статья раскрывает, на каких принципах может строиться доказательная оценка цифрового института в регионе, и показывает, как эти принципы задают единую аналитическую рамку.

Обзор литературы

Институциональная экономика давно обосновала значение правил игры для экономического роста [1]. Однако ее инструментарий ориентирован на сравнение сложившихся институтов, а не на оценку только что запущенных цифровых механизмов. Вопрос о том, как оценивать эффект отдельного института в конкретном регионе, остается открытым.

Доказательная государственная политика предлагает опираться на данные и формализованные процедуры [2; 3; 4]. Она переносит внимание с экспертных мнений на наблюдаемое поведение. В региональных исследованиях это привело к распространению статистических оценок эффектов политики. Однако цифровой институт – не однократное воздействие, и его влияние переплетено с другими изменениями. Поэтому прямое применение стандартных методов не всегда возможно.

Пространственный анализ показывает, что эффекты институтов редко замыкаются в административных границах [5]. Стимулы, созданные в одном регионе, могут влиять на поведение агентов в соседних. Это означает, что оценка должна учитывать перетоки и неоднородность эффекта по территории.

Композитные индексы позволяют агрегировать разрозненные данные в единую величину [6; 7]. Они удобны для сравнения, но могут скрывать важные различия между составляющими. Агрегирование не должно подменять содержательный анализ.

Дополнительный контекст дают теория общественного выбора, рассматривающая государственные органы как рациональных агентов [9], и теория социального капитала, подчеркивающая роль доверия и сетей [8]. Ранее авторы обращались к цифровой социальной индексации как к механизму трансформации социальной активности [10].

В отличие от перечисленных подходов, предлагаемая рамка не сводится к одному методу и не полагается на единственный показатель. Она совмещает несколько перспектив оценки и не заменяет содержательный анализ агрегированием.

Методика

Методологическую основу работы составляет концептуальный анализ цифрового следа экономических агентов и того, каким образом он становится основанием для доказательства эффективности института.

Доказательная оценка цифрового института должна опираться на несколько принципов:

– принцип контрфактичности – недостаточно показать, что после запуска института ситуация улучшилась. Нужно отделить вклад института от влияния других факторов. Это требует сравнения: территории, где институт действовал, сопоставляются с теми, где его не было, либо сравниваются периоды до и после;

– принцип пространственной чувствительности – эффект института может быть сильнее в одних территориях и слабее в других. Оценка должна показывать, где и почему возникают различия, и учитывать возможные перетоки через границы;

– принцип временной устойчивости – разовый положительный результат не является доказательством. Важно видеть динамику: сохраняется ли эффект, нарастает ли он или затухает. Для координационных институтов, которые меняют стимулы, а не объемы, это особенно значимо;

– принцип аналитической осторожности – данные создают иллюзию точности, однако за числами могут стоять разные процессы. Оценка не должна подменяться механическим расчетом показателей: необходимо понимать, что именно измеряется и какие ограничения у каждого источника.

На пересечении этих принципов складывается доказательная рамка – набор сопоставлений, каждое из которых проверяет свою грань эффекта.

Основная часть

Цифровой след бизнеса и граждан – это удобный источник данных. Он возникает сам по себе, не требует дополнительной отчетности и позволяет видеть поведение в динамике. Этим он выгодно отличается от традиционных административных данных, которые нередко собираются с задержкой и отражают только формальные показатели.

Но след нейтрален: он фиксирует факты, а не объяснения. Чтобы извлечь из него оценку, нужна аналитическая рамка, отделяющая содержательные сигналы от случайных колебаний. Качество доказательства зависит не от объема данных, а от точности этой рамки. Без нее цифровой след остается массивом чисел, которые можно трактовать по-разному.

Первый вопрос, на который должна отвечать оценка, – есть ли у института собственный вклад в наблюдаемые изменения. Ответ на него непростой: цифровые институты редко внедряются изолированно. Чаще они запускаются одновременно с другими мерами, и отделить их эффект от общего фона довольно сложно. Тем не менее, сопоставление контрастных территорий или периодов дает первичный сигнал. Если в регионах, где институт действовал, поведение агентов отличается от тех, где его не было, это основание для более глубокого анализа. Такой подход не требует сложных методик, но помогает избежать главной ошибки – при-

писывать институту все изменения подряд. Он заставляет искать именно ту разницу, которая связана с его действием, а не с общим трендом.

Однако отделить вклад института – только первый шаг. Не менее важно увидеть, как этот вклад распределен по территории. Один и тот же институт может давать разные результаты в разной среде. Там, где инфраструктура подготовлена, эффект выше. К тому же агенты могут действовать сразу в нескольких юрисдикциях, перенося эффект через границы. Оценка, которая не учитывает пространственную структуру, может исказить выводы: принять затухание за диффузию или приписать институту влияние соседних территорий. Поэтому пространственная проекция – обязательный элемент доказательной рамки. Она показывает, что эффект не существует абстрактно, а всегда привязан к конкретной среде.

Следующий вопрос – насколько эффект устойчив во времени. Всплеск активности после запуска может быть вызван новизной, а не институциональным сдвигом. Настоящий эффект проявляется в повторяемости: он воспроизводится в разных циклах и не исчезает после первых волн. Для цифровых институтов это особенно важно. Стимулы меняют поведение постепенно, по мере накопления опыта, поэтому оценка должна быть не разовой, а встроенной в управленческий цикл. Только регулярное наблюдение позволяет отличить устойчивый эффект от временного. Если результат фиксируется лишь в первые месяцы после запуска, это повод усомниться в его институциональной природе.

Обилие цифровых данных создает соблазн свести оценку к одному числу. Кажется, что достаточно рассчитать показатель, и вывод готов. Однако такая точность нередко оказывается ложной. За одним и тем же числом могут стоять разные процессы, а за разными числами – сходные. Доказательная рамка должна противостоять этому соблазну. Она не отказывается от количественных оценок, но удерживает в поле зрения несколько перспектив. Это не усложнение ради усложнения, а способ не потерять содержательные различия. Одно число не может одновременно отразить вклад, пространственное распределение и устойчивость.

Цифровой след позволяет институту видеть собственные эффекты. Оценка в этом случае перестает быть внешней процедурой и становится встроенным свойством. Институт, обладающий такой способностью, может корректировать стимулы, не дожидаясь внешнего аудита.

Самодиагностика не отменяет независимой проверки, но делает ее более осмысленной. Внешний оценщик получает не сырой массив данных, а уже структурированные сигналы, указывающие на зоны напряжения. Это повышает и точность, и скорость управленческих решений. К тому же постоянная самодиагностика снижает вероятность накопления скрытых дисбалансов, которые обычно обнаруживаются слишком поздно.

Доказательный контур особенно важен там, где нет возможности содержать сложные аналитические подразделения. В таких регионах соблазн свести оценку к одному числу особенно велик, а риск ложной точности – максимален. Простая, но принципиально многомерная рамка позволяет даже при ограниченных ресурсах получать содержательные выводы. Она не требует дорогих инструментов и больших команд. Достаточно последовательно фиксировать вклад, пространство и время, чтобы увидеть, где институт работает, а где буксует. Для небольших регионов это способ не отказываться от доказательной политики, а адаптировать ее к своим возможностям.

Доказательный контур можно встроить в регулярный управленческий цикл: данные собираются автоматически, сопоставления проводятся с заданной периодичностью, результаты в виде кратких сигналов поступают на уровень принятия решений. Это не разовая проверка, а постоянный элемент управления, позволяющий корректировать стимулы до накопления критических дисбалансов. Такое встраивание делает оценку не обузой, а рабочим инструментом. Управленец получает не ежегодный объемный отчет, а серию коротких сигналов, которые

можно учитывать в текущих решениях. Благодаря этому сокращается разрыв между обнаружением проблемы и реакцией на нее.

Так вырисовывается доказательный контур – цикл, в котором цифровой след поступает в аналитическую рамку, рамка рождает сопоставления, а результаты становятся основанием для корректировки. Цикл не линеен: каждая корректировка меняет условия, и процесс повторяется. В этом цикле оценка перестает быть надстройкой над институтом и становится его частью. Институт не запускается и потом проверяется – он постоянно проверяется в ходе собственной работы. Доказательство, таким образом, – не итог, а процесс, встроенный в саму ткань цифрового института.

Выводы

Оценка эффективности цифрового института не сводится к одному показателю. Она требует совмещения нескольких перспектив: вклада, пространства и времени. Только такое совмещение превращает данные в доказательство.

Цифровой след дает для этого материал, но не заменяет рамку. Данные начинают работать, когда пропущены через принципы контрфактичности, пространственной чувствительности, временной устойчивости и аналитической осторожности.

Доказательный контур, в котором оценка встроена в работу института, превращает его в самонастраивающуюся систему. Это особенно важно для регионов, где потребность в объективной оценке совпадает с ростом объема цифровых данных.

Предложенный подход формирует основу для перехода от мониторинга цифровых институтов к их доказательному аудиту. Умение извлекать доказательства из потока информации становится самостоятельным институциональным ресурсом.

Список литературы

1. North, D. Institutions, Institutional Change and Economic Performance. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 152 p.

2. Head, B. W. Three Lenses of Evidence-Based Policy // Australian Journal of Public Administration. – 2008. – Vol. 67. – № 1. – P. 1–11.

3. Nutley, S. M., Walter, I., Davies, H. T. O. Using Evidence: How Research Can Inform Public Services. – Bristol: Policy Press, 2007. – 363 p.

4. Cairney, P. The Politics of Evidence-Based Policy Making. – London: Palgrave Macmillan, 2016. – 137 p.

5. De Dominicis, L. Inequality and growth in European regions: Towards a place-based approach // Spatial Economic Analysis. – 2014. – Vol. 9. – № 2. – P. 120–141.

6. Greco, S., Ishizaka, A., Tasiou, M., Torrisi, G. On the methodological framework of composite indices: A review of the issues of weighting, aggregation, and robustness // Social Indicators Research. – 2019. – Vol. 141. – № 1. – P. 61–94.

7. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process. – New York: McGraw-Hill, 1980. – 287 p.

8. Putnam, R. D. Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy. – Princeton: Princeton University Press, 1993. – 280 p.

9. Buchanan, J. M., Tullock, G. The Calculus of Consent: Logical Foundations of Constitutional Democracy. – Ann Arbor: University of Michigan Press, 1962. – 361 p.

10. Garipov, A. Sh., Garipova, E. N. Digital Social Indexing as a Mechanism for Transforming Social Activity into an Economic Resource for Regional Development // Management Sciences. – 2026. – № 4. – (In press).

УДК 004.932

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛОМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Гарифьянов Р.И., магистр;
ORCID: 0009-0001-1925-8760;
E-mail: ruslan3346@gmail.com;
Андреянов Н.В., старший преподаватель кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

ANALYSIS OF COMPUTER VISION METHODS FOR MONITORING PERSONNEL USE OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT AT AN INDUSTRIAL FACILITY

Garif'yanov R.I., Master's Degree;
ORCID: 0009-0001-1925-8760;
E-mail: ruslan3346@gmail.com;
Andreyanov N.V., Senior Lecturer, Department of Automated Information Processing and Control Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматривается задача автоматизированного контроля использования средств индивидуальной защиты персоналом на промышленном объекте с применением методов компьютерного зрения. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения эффективности контроля требований охраны труда и снижения влияния человеческого фактора при анализе видеопотоков с камер наблюдения. Проведен анализ традиционных методов компьютерного зрения, включая вычитание фона, анализ контуров, гистограммы направленных градиентов, метод Виолы-Джонса и цветовую сегментацию. Также рассмотрены методы глубокого обучения для обнаружения объектов, в том числе R-CNN, SSD и YOLO. Выполнено сравнение методов по критериям скорости, точности, устойчивости к сложному фону и применимости для контроля средств индивидуальной защиты. По результатам анализа обоснована целесообразность применения гибридного подхода, включающего модели YOLO для обнаружения персонала и средств индивидуальной защиты, алгоритм DeepSORT для сопровождения сотрудников между кадрами и цветовой анализ для дополнительной проверки наличия сигнального жилета.

Ключевые слова: компьютерное зрение, средства индивидуальной защиты, промышленная безопасность, YOLO, DeepSORT, обнаружение объектов, сигнальный жилет, защитная каска, видеонаблюдение

Abstract

The article addresses automated monitoring of personnel use of personal protective equipment at an industrial facility using computer vision methods. The relevance of the topic is determined by the need to improve occupational safety control and reduce the influence of the human factor when analyzing video streams from surveillance cameras. Traditional computer vision methods are considered, including background subtraction, contour analysis, histograms of oriented gradients, the Viola–Jones method, and color segmentation. Deep learning methods for object detection, including R-CNN, SSD, and YOLO, are also analyzed. The methods are compared by speed, accuracy, robustness

to complex backgrounds, and applicability to PPE monitoring. The analysis substantiates the use of a hybrid approach combining YOLO models for detecting personnel and PPE, the DeepSORT algorithm for tracking employees between frames, and color analysis for additional verification of high-visibility vest presence.

Keywords: computer vision, personal protective equipment, industrial safety, YOLO, DeepSORT, object detection, high-visibility vest, safety helmet, video surveillance

Введение

На промышленных объектах одновременно выполняется большое количество технологических операций, связанных с движением персонала, спецтехники, использованием оборудования и нахождением работников в зонах повышенной опасности. В таких условиях важное значение имеет контроль соблюдения требований охраны труда и промышленной безопасности.

Одним из основных направлений обеспечения безопасности персонала является контроль использования средств индивидуальной защиты. К таким средствам относятся защитные каски, сигнальные жилеты, специальная одежда, защитные очки, перчатки и другие элементы экипировки. В рамках задач видеоконтроля наиболее удобными для автоматического обнаружения являются визуально различимые элементы, такие как защитная каска и сигнальный жилет.

Традиционно контроль соблюдения требований безопасности осуществляется ответственными сотрудниками, специалистами службы охраны труда или операторами видеонаблюдения. Однако ручной контроль имеет ряд ограничений. Оператор не всегда способен одновременно анализировать несколько видеопотоков, своевременно замечать нарушения и объективно фиксировать события. Кроме того, человеческий фактор может приводить к пропуску нарушений из-за усталости, невнимательности или высокой нагрузки.

В связи с этим актуальной является разработка интеллектуальных систем видеонаблюдения, способных автоматически обнаруживать сотрудников, определять наличие средств индивидуальной защиты и фиксировать нарушения требований безопасности. Для решения данной задачи могут применяться методы компьютерного зрения и глубокого обучения, включая классические методы обработки изображений [1; 2], современные алгоритмы обнаружения объектов [6; 7] и методы сопровождения объектов на видеопоследовательности [8].

Постановка задачи

Задача контроля использования средств индивидуальной защиты по видеоданным включает несколько этапов:

1) получение кадров из видеопотока;
2) обнаружение человека на изображении;
3) определение координат ограничивающей рамки сотрудника;
4) анализ области изображения, соответствующей сотруднику;
5) обнаружение защитной каски и сигнального жилета;
6) определение отсутствия обязательных элементов экипировки;
7) сопровождение сотрудника между кадрами;
8) фиксация нарушения и формирование события для последующего анализа.

Основная сложность задачи заключается в том, что средства индивидуальной защиты занимают небольшую область изображения. Каска может быть частично перекрыта, иметь разный цвет и форму, а сигнальный жилет может изменять внешний вид в зависимости от освещения, положения сотрудника и качества видеопотока. Кроме того, на промышленном объекте часто присутствует сложный фон: оборудование, техника, строительные конструкции, тени и объекты, похожие по цвету или форме на элементы экипировки.

Для формального описания задачи кадр видеопотока можно представить как изображение I_t размерности $W \times H$ в момент времени t. Для каждого обнаруженного сотрудника формируется ограничивающая рамка:

$$B_i^t = (x_i^t, y_i^t, w_i^t, h_i^t), \quad (1)$$

где x_i^t, y_i^t – координаты верхнего левого угла рамки, w_i^t и h_i^t – ширина и высота рамки i-го сотрудника. Состояние сотрудника может быть описано вектором признаков:

$$z_i^t = (p_i^t, c_i^t, v_i^t, h_i^t, r_i^t), \quad (2)$$

где p_i^t – факт обнаружения человека, c_i^t – наличие каски, v_i^t – наличие жилета, h_i^t – наличие области головы, r_i^t – факт нахождения в опасной зоне. На основе данного вектора формируется итоговое решение о соблюдении требований безопасности.

Традиционные методы компьютерного зрения

Традиционные методы компьютерного зрения основаны на ручном выделении признаков изображения. К таким признакам относятся цвет, контуры, градиенты яркости, движение между кадрами и геометрические параметры объектов.

Метод вычитания фона

Метод вычитания фона является одним из базовых подходов к анализу видеопоследовательностей. Его суть заключается в сравнении текущего кадра с моделью фона. Если значение пикселя текущего кадра существенно отличается от значения пикселя фоновой модели, он относится к переднему плану.

Данный метод может использоваться для выделения движущихся объектов, в том числе людей. Его преимуществами являются высокая скорость работы, простота реализации и отсутствие необходимости в обучающей выборке. Однако метод имеет существенные ограничения: он чувствителен к изменению освещения, теням, движущимся объектам фона и не позволяет определить класс объекта. Поэтому вычитание фона не может надежно отличить человека от техники или другого движущегося объекта, а также не позволяет определить наличие каски или жилета [1; 2].

Математически вычитание фона можно описать через разность текущего кадра $I_t(x, y)$ и модели фона $F_t(x, y)$:

$$D_t(x, y) = |I_t(x, y) - F_t(x, y)|. \quad (3)$$

Пиксель относится к переднему плану, если выполняется условие:

$$M_t(x, y) = 1, \text{если } D_t(x, y) > T_{bg}; \text{ иначе } M_t(x, y) = 0, \quad (4)$$

где T_{bg} – порог отличия от фона. При изменении освещения значение D_t может увеличиваться даже для неподвижных областей, что приводит к ложным срабатываниям.

Анализ контуров

Анализ контуров основан на выделении границ объектов на изображении. Обычно перед поиском контуров выполняются перевод изображения в оттенки серого, фильтрация шума, бинаризация и выделение границ. Далее найденные контуры анализируются по площади, форме, ширине, высоте и отношению сторон.

Для обнаружения персонала контуры могут использоваться только в простых условиях, когда человек хорошо отделяется от фона. В реальной производственной среде контуры сотрудника могут сливаться с оборудованием, техникой или тенями. Кроме того, анализ контуров не позволяет надежно определить наличие средств индивидуальной защиты, так как каска и жилет могут иметь разные размеры, форму и положение на изображении [1].

Для каждого найденного контура C_k могут рассчитываться площадь и периметр:

$$S(C_k) = \Sigma_{(x,y)\in C_k} 1, \quad (5)$$

$$P(C_k) = \Sigma_j | \quad |q_j - q_{j-1}| \quad |_2, \quad (6)$$

где q_j – точки границы контура. Отбор контуров обычно выполняется по условиям $S(C_k) > S_{min}$ и $a_{min} < w_k/h_k < a_{max}$. Однако такие геометрические признаки слабо устойчивы к повороту человека, перекрытиям и сложному фону.

Метод HOG

Метод гистограмм направленных градиентов, или HOG, основан на анализе распределения направлений градиентов яркости. Внешний вид объекта описывается набором локальных гистограмм, характеризующих форму объекта. HOG широко применялся для обнаружения пешеходов.

Данный метод более устойчив к форме объекта, чем вычитание фона или анализ контуров. Однако в условиях промышленного объекта его эффективность снижается из-за изменения позы человека, масштаба, ракурса и частичного перекрытия. Для обнаружения касок и жилетов HOG подходит хуже, поскольку данные объекты имеют небольшой размер и могут иметь различный внешний вид [4].

В основе HOG лежит расчет градиента яркости по горизонтальному и вертикальному направлениям:

$$G_x = \partial I/\partial x, G_y = \partial I/\partial y. \quad (7)$$

Модуль и направление градиента определяются выражениями:

$$m(x,y) = sqrt\left(G_x^2 + G_y^2\right), \quad (8)$$

$$\theta(x,y) = arctan\left(G_y/G_x\right). \quad (9)$$

Затем направления θ группируются в локальные гистограммы. Для классификации часто используется SVM, где решение принимается по правилу $sign(w^T\varphi(I) + b)$.

Метод Виолы-Джонса

Метод Виолы-Джонса основан на признаках Хаара и каскадной структуре классификатора. Первоначально данный метод применялся для обнаружения лиц, но теоретически может быть адаптирован для других объектов.

Преимуществом метода является высокая скорость работы. Однако для надежного обнаружения требуется заранее обученный каскад, а устойчивость метода к изменению ракурса, масштаба, освещения и внешнего вида объекта ограничена. Поэтому для контроля средств индивидуальной защиты на промышленном объекте данный метод может применяться только в отдельных частных случаях [5].

Значение признака Хаара можно представить как разность сумм яркостей в светлой и темной областях прямоугольного шаблона:

$$f_H = \Sigma_{(x,y)\in R_{white}} I(x,y) - \Sigma_{(x,y)\in R_{black}} I(x,y). \quad (10)$$

Каскад классификаторов принимает объект только в том случае, если он прошел все этапы проверки. Это ускоряет отбрасывание фона, но делает метод чувствительным к несоответствию обучающего набора реальным условиям съемки.

Цветовая сегментация

Цветовая сегментация основана на выделении областей изображения по заданному диапазону цветов. В задаче контроля средств индивидуальной защиты данный метод может быть полезен для обнаружения сигнального жилета, так как жилеты часто имеют ярко-желтый или оранжевый цвет.

Преимуществами цветовой сегментации являются высокая скорость и простота реализации. Однако метод сильно зависит от освещения, цветопередачи камеры, теней и наличия на фоне объектов похожего цвета. Поэтому цветовой анализ целесообразно использовать не как основной метод, а как вспомогательный механизм для подтверждения наличия жилета [1; 10].

Для цветовой сегментации удобно использовать пространство HSV. Маска сигнального цвета может быть задана как:

$$M_v(x,y) = 1, \text{если } H_{min} \le H(x,y) \le H_{max}, S(x,y) \ge S_{min}, V(x,y) \ge V_{min}; \\ \text{иначе } M_v(x,y) = 0. \quad (11)$$

Доля пикселей, соответствующих цвету жилета в области туловища Ω_{torso}, вычисляется по формуле:

$$R_v = (1/|\Omega_{torso}|)\Sigma_{(x,y)\in\Omega_torso} M_v(x,y). \quad (12)$$

Если $R_v > T_v$, то наличие сигнального жилета может быть подтверждено вспомогательным методом.

Методы глубокого обучения

Методы глубокого обучения являются более современным и эффективным подходом к обнаружению объектов. В отличие от традиционных методов, они не требуют ручного формирования признаков. Нейронная сеть самостоятельно извлекает признаки из обучающих данных и формирует внутренние представления объектов.

Для задач контроля средств индивидуальной защиты методы глубокого обучения позволяют одновременно решать несколько задач: обнаруживать людей, каски, жилеты и другие элементы экипировки в сложных условиях съемки.

R-CNN

R-CNN относится к двухэтапным методам обнаружения объектов. На первом этапе формируются области-кандидаты, в которых потенциально могут находиться объекты. На втором этапе каждая область анализируется сверточной нейронной сетью.

Данный подход обеспечивает высокую точность, но имеет большую вычислительную сложность и низкую скорость обработки. Поэтому R-CNN менее подходит для систем видеомониторинга, работающих в режиме, близком к реальному времени [7].

В двухэтапной схеме сначала формируется множество областей-кандидатов $R = R_1, R_2, ..., R_n$, после чего для каждой области вычисляется вероятность класса:

$$p(c|R_j) = softmax\left(g_\theta(R_j)\right)_c. \quad (13)$$

Такой подход требует отдельной обработки большого числа кандидатов, что увеличивает время анализа одного кадра.

SSD

SSD является одноэтапным методом обнаружения объектов. Он выполняет обнаружение объектов за один проход нейронной сети, что делает его более быстрым по сравнению с R-CNN. SSD может использоваться для обработки видеопотока, однако при обнаружении небольших объектов, таких как каска или жилет, возможны ошибки локализации и пропуски.

Качество локализации рамок в SSD, YOLO и других детекторах обычно оценивается через коэффициент пересечения над объединением:

$$IoU(B_p, B_g) = |B_p \cap B_g|/|B_p \cup B_g|, \quad (14)$$

где B_p – предсказанная рамка, B_g – истинная рамка объекта. Детекция считается корректной, если $IoU(B_p, B_g) \ge T_IoU$..

YOLO

YOLO является одним из наиболее распространенных методов обнаружения объектов в режиме реального времени. Модель анализирует изображение за один проход и сразу предсказывает классы объектов и координаты ограничивающих рамок.

Для задачи контроля использования средств индивидуальной защиты YOLO является наиболее подходящим методом, так как обеспечивает хорошее соотношение скорости и точности. Модель может быть обучена на пользовательских классах, например helmet, vest и head. Это позволяет адаптировать ее к задаче обнаружения защитных касок, сигнальных жилетов и области головы сотрудника [6; 9].

В общем виде для каждого объекта YOLO формирует вектор предсказания:

$$\hat{y} = (x, y, w, h, p_obj, p_1, p_2, \ldots, p_C), \quad (15)$$

где $p_o b_j$ – уверенность наличия объекта, p_c – вероятность принадлежности к классу c. Итоговая уверенность класса может быть рассчитана как:

$$conf_c = p_obj \cdot p_c. \quad (16)$$

После предсказания применяется подавление немаксимумов: для двух рамок B_i и B_j с высоким пересечением менее уверенная рамка удаляется, если $IoU(B_i, B_j) > T_{NMS}$.

Сопровождение объектов

Для полноценного контроля безопасности недостаточно обнаруживать сотрудников на каждом кадре отдельно. Необходимо сопровождать каждого сотрудника во времени, чтобы сохранять его идентификатор и результаты анализа. Для решения данной задачи может использоваться алгоритм DeepSORT.

DeepSORT сопоставляет обнаружения на текущем кадре с уже существующими треками и присваивает каждому объекту уникальный идентификатор. Это позволяет отслеживать перемещение сотрудника между кадрами, стабилизировать результаты анализа и снижать вычислительную нагрузку за счет кэширования состояния средств индивидуальной защиты [8].

Состояние трека можно представить вектором:

$$x_t = (u, v, \gamma, h, u_dot, v_dot, \gamma_dot, h_dot)^T, \quad (17)$$

где u и v – координаты центра рамки, γ – отношение ширины к высоте, h – высота рамки, а величины с точкой обозначают скорости изменения параметров. Стоимость сопоставления трека и новой детекции может быть задана как взвешенная сумма геометрической и визуальной составляющих:

$$C(i,j) = \lambda d_{motion}(i,j) + (1-\lambda) d_{app}(i,j), \quad (18)$$

где d_{motion} – расстояние по положению, d_{app} – расстояние между визуальными признаками, λ – коэффициент баланса.

Сравнительный анализ методов

Сравнение методов компьютерного зрения для задачи контроля средств индивидуальной защиты представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение методов компьютерного зрения для контроля СИЗ

Метод	Скорость	Точность	Устойчивость к сложному фону	Применимость для персонала	Применимость для СИЗ
Вычитание фона	Высокая	Низкая	Низкая	Средняя	Низкая
Анализ контуров	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
HOG + SVM	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Низкая

Окончание табл. 1

Метод	Скорость	Точность	Устойчивость к сложному фону	Применимость для персонала	Применимость для СИЗ
Виола–Джонс	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая
Цветовая сегментация	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая	Средняя
R-CNN	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
SSD	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
YOLO	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
YOLO + DeepSORT	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая

Из таблицы видно, что традиционные методы обладают высокой скоростью, но недостаточной устойчивостью к сложным условиям производственной среды. Они могут применяться как вспомогательные, например для цветовой проверки сигнального жилета. Методы глубокого обучения, особенно YOLO, обеспечивают более высокую точность и устойчивость при обнаружении объектов на сложном фоне [3, 6, 9].

Для количественного сравнения методов могут использоваться метрики точности и полноты:

$$Precision = TP/(TP + FP), \tag{19}$$

$$Recall = TP/(TP + FN), \tag{20}$$

$$F1 = 2 \cdot Precision \cdot Recall/(Precision + Recall), \tag{21}$$

где TP – число корректных обнаружений, FP – число ложных обнаружений, FN – число пропущенных объектов. Скорость обработки видеопотока может быть оценена как:

$$FPS = N_frames/T_otal. \tag{22}$$

Эти показатели позволяют сравнивать методы не только качественно, но и по измеримым критериям.

Наиболее целесообразным для задачи контроля средств индивидуальной защиты является гибридный подход, включающий:

– YOLO для обнаружения персонала;
– YOLO для обнаружения средств индивидуальной защиты;
– DeepSORT для сопровождения сотрудников;
– цветовую сегментацию для дополнительной проверки наличия сигнального жилета;
– логические правила для определения отсутствия обязательных элементов экипировки.

Обсуждение результатов

Проведенный анализ показывает, что использование только традиционных методов компьютерного зрения не обеспечивает достаточной надежности для контроля средств индивидуальной защиты на промышленном объекте. Основные причины заключаются в высокой изменчивости условий съемки, наличии сложного фона, перекрытиях объектов и малом размере элементов СИЗ на изображении.

Методы глубокого обучения позволяют повысить качество обнаружения за счет автоматического извлечения признаков и обучения на специализированных наборах данных. Однако для практического применения важно учитывать вычислительную нагрузку и необходимость работы с видеопотоком в режиме, близком к реальному времени.

Использование двух моделей YOLO является обоснованным решением: первая модель обнаруживает сотрудников на полном кадре, а вторая анализирует только фрагмент изображения, соответствующий конкретному сотруднику. Такой подход уменьшает влияние фона и повышает вероятность корректного обнаружения небольших объектов, таких как каска и жилет.

Дополнительное применение DeepSORT позволяет сохранять идентификатор сотрудника между кадрами, а цветовой анализ жилета повышает надежность системы в случаях, когда нейронная сеть не обнаруживает жилет как отдельный объект [8; 10].

Итоговое правило принятия решения для i-го сотрудника можно представить в виде функции:

$$status_i = f(c_i, v_i, h_i, r_i), \tag{23}$$

где c_i – признак наличия каски, v_i – признак наличия жилета, h_i – признак обнаружения головы, r_i – признак нахождения в опасной зоне. Для режима контроля helmet_vest базовое правило имеет вид:

$$\begin{gathered}\text{OK, если } c_i = 1 \text{ и } v_i = 1;\\ \text{CHECK, если информация о СИЗ неполная;}\\ \text{VIOLATION, если обязательный элемент СИЗ отсутствует.}\end{gathered} \tag{24}$$

Если при этом $r_i = 1$ и $status_i$ = VIOLATION, событие может быть отнесено к критическому уровню опасности.

Заключение

В статье рассмотрены методы компьютерного зрения, применимые к задаче контроля использования средств индивидуальной защиты персоналом на промышленном объекте. Установлено, что традиционные методы, такие как вычитание фона, анализ контуров, HOG, метод Виолы-Джонса и цветовая сегментация, имеют ограниченную применимость в сложных производственных условиях. Они могут использоваться только как вспомогательные инструменты.

Наиболее эффективным подходом является применение методов глубокого обучения, в частности моделей семейства YOLO. Для повышения устойчивости системы целесообразно использовать гибридную архитектуру, включающую обнаружение персонала, анализ средств индивидуальной защиты, сопровождение сотрудников между кадрами и дополнительную цветовую проверку сигнального жилета.

Предложенный подход может быть использован при разработке программного обеспечения интеллектуальных систем видеонаблюдения, систем охраны труда и автоматизированного контроля безопасности на промышленных объектах.

Список литературы

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Техносфера, 2018. – 1104 с.

2. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Д. Стокман. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.

3. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. – 2nd ed. – Springer, 2022.

4. Dalal N. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection / N. Dalal, B. Triggs // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2005. – P. 886–893. DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.

5. Viola P. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features / P. Viola, M. Jones // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2001.

6. Redmon J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – P. 779–788.

7. Girshick R. Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation / R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, J. Malik // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2014. – P. 580–587.

8. Bewley A. Simple Online and Realtime Tracking / A. Bewley, Z. Ge, L. Ott [et al.] // IEEE International Conference on Image Processing. – 2016.

9. Ultralytics YOLO11 // Ultralytics. – URL: https://docs.ultralytics.com/ru/models/yolo11/ (дата обращения: 28.04.2026).

10. OpenCV Documentation // OpenCV URL: https://docs.opencv.org/ (дата обращения: 28.04.2026).

УДК 332.1

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ В 2020–2024 ГГ.: АНАЛИТИКА КЛЮЧЕВЫХ СДВИГОВ

Гатауллов А.А., аспирант ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
E-mail: a.gataullov@zmt-group.ru

KEY TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF RUSSIA'S REGIONAL ECONOMY (2020–2024): AN ANALYSIS OF MAJOR SHIFTS

Gataullov A.A., Postgraduate Student, Center for Advanced Economic Research Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
E-mail: a.gataullov@zmt-group.ru

Аннотация

В статье проанализированы ключевые тенденции развития региональной экономики России в период 2020–2024 гг. на основе данных Росстата и рецензируемых исследований 2023–2025 гг. Выявлено, что суммарный валовой региональный продукт (ВРП) страны вырос со 139,50 трлн руб. в 2022 г. до 186,55 трлн руб. в 2024 г., однако межрегиональные разрывы по среднедушевому ВРП сохраняются на уровне 66–70 раз (14,25 млн руб. в Ненецком АО против 204,57 тыс. руб. в Республике Ингушетия). Установлены четыре базовые тенденции: (1) устойчивость иерархии развития при смещении источников дифференциации от отраслевой структуры к агломерационным эффектам и зависимости от иностранного капитала; (2) ускоренный номинальный рост восточных и отдельных периферийных территорий (Чеченская Республика +36,97%, Магаданская область +29,14% по ВРП в 2024 г.) на фоне инфраструктурных мегапроектов и переориентации логистики; (3) превращение цифровой трансформации в самостоятельный фактор пространственного неравенства, что подтверждается группировкой регионов по цифровому капиталу Т. В. Миролюбовой и оценками Республики Татарстан как региона-флагмана; (4) высокая скошенность налоговой базы, измеряемая коэффициентом Джини, делающая федеральное перераспределение условием функционирования большинства регионов. Показано, что три из четырёх тенденций усиливают друг друга: инвестиционный приток концентрируется в регионах с готовой ресурсной базой, а цифровые технологии осваиваются там, где уже сформирован обрабатывающий сектор. Кейс Татарстана демонстрирует, что сочетание промышленной базы и затрат на информационно-коммуникационные технологии даёт статистически значимый прирост ВРП, но не отменяет общероссийскую концентрацию цифрового капитала в столичных ядрах. Практический вывод состоит в необходимости оценивать региональные стратегии не по темпам роста ВРП, а по доле несырьевой добавленной

стоимости и фактическому применению цифровых технологий предприятиями. Результаты могут быть использованы при корректировке инструментов пространственной политики.

Ключевые слова: региональная экономика, валовой региональный продукт, межрегиональная дифференциация, цифровая трансформация, цифровой капитал, Республика Татарстан, пространственное развитие, фискальная база регионов, коэффициент Джини, Россия

Abstract

The article analyses key trends in the development of the regional economy of Russia in 2020–2024 based on Rosstat data and peer-reviewed studies of 2023–2025. It is shown that the total gross regional product (GRP) of the country increased from 139.50 trillion rubles in 2022 to 186.55 trillion rubles in 2024, while interregional gaps in per capita GRP remain at the level of 66–70 times (14.25 million rubles in the Nenets Autonomous Okrug versus 204.57 thousand rubles in the Republic of Ingushetia). Four basic trends are identified: (1) persistence of the development hierarchy with a shift in the sources of differentiation from industry structure to agglomeration effects and dependence on foreign capital; (2) accelerated nominal growth of eastern and selected peripheral territories (Chechen Republic +36.97%, Magadan Region +29.14% in GRP in 2024) driven by infrastructure megaprojects and logistics reorientation; (3) transformation of digital transition into an independent factor of spatial inequality, confirmed by T. V. Mirolyubova's grouping of regions by digital capital and by estimates for the Republic of Tatarstan as a flagship region; (4) high skewness of the tax base measured by the Gini coefficient, making federal redistribution a condition for the functioning of most regions. The Tatarstan case shows that industrial capacity combined with ICT spending yields a statistically significant GRP effect, yet does not cancel the nationwide concentration of digital capital in metropolitan cores. Regional strategies should be assessed not by GRP growth rates but by the share of non-resource value added and the actual application of digital technologies by enterprises.

Keywords: regional economy, gross regional product, interregional differentiation, digital transformation, digital capital, Republic of Tatarstan, spatial development, regional fiscal base, Gini coefficient, Russia

Введение

Разрыв между лидером и замыкающим субъектом РФ по объёму валового регионального продукта (ВРП) в 2024 г. составил около 378 раз: 41,00 трлн руб. в Москве против 108,59 млрд руб. в Республике Ингушетия [1]. Суммарный ВРП страны за 2024 г. достиг 186,55 трлн руб. против 139,50 трлн руб. в 2022 г. [1]. Такая динамика при сохраняющемся отрыве столичного узла ставит перед региональной аналитикой вопрос: рост последних лет выравнивает пространство или, наоборот, закрепляет сложившуюся иерархию? Цель работы – выделить и обосновать 4 базовые тенденции региональной экономики России периода 2020–2024 гг. на материале рецензируемых исследований 2023–2024 гг. и данных Росстата. Задачи распределены по логике изложения: сначала оценивается характер межрегиональной дифференциации, затем описывается структурный сдвиг в пользу восточных территорий, далее измеряется неравномерность цифровой трансформации, и в завершение фиксируется изменение фискальной базы регионов.

1. Устойчивость межрегиональной дифференциации

Начнём с самой инерционной характеристики пространства – различий в уровне развития. Межрегиональные разрывы в России не сокращаются, однако их источник смещается. Ю. Г. Лаврикова и А. В. Суворова, анализируя макрорегионы, зафиксировали коэффициент вариации среднедушевого ВРП выше 0,33, что для интегральных (то есть уже усреднённых по группам субъектов) показателей крайне высоко [2]. По расчётам, приведённым в журнале «Статистика и экономика», разрыв между максимальным и минимальным среднедушевым ВРП в 2023 г. достигал 65,8 раза [3]. Данные Росстата за 2024 г. дают близкую картину: 14,25 млн руб. на человека в Ненецком АО против 204,57 тыс. руб. в Ингушетии – примерно 69,7 раза при среднем по стране 1,28 млн руб. [1]. Два независимых замера (научная публи-

кация по 2023 г. и статистика 2024 г.) совпадают по порядку величины, поэтому вывод об отсутствии конвергенции по уровню считаем обоснованным. Как показано на рис. 1, разрыв остаётся экстремально высоким.

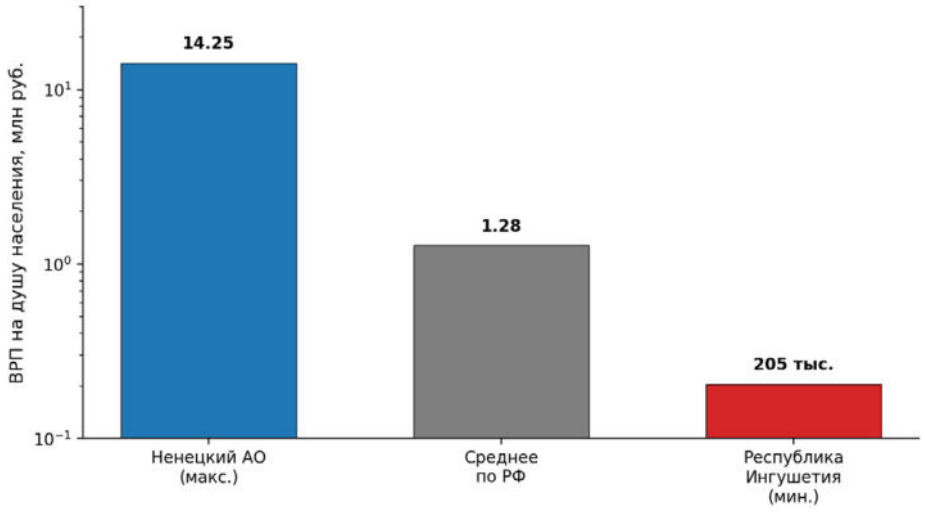


Рис. 1. Разрыв по среднедушевому ВРП в 2024 г. (макс./мин. ≈ 69,7 раза).

Источник: рассчитано по данным Росстата [1].

Причины устойчивости разрывов исследователи трактуют по-разному. О. В. Кузнецова показала, что в 2022 г. динамика регионов впервые определялась не отраслевой структурой как таковой, а зависимостью экономики от иностранного капитала, из-за чего наибольшие проблемы возникли у Северо-Западного федерального округа [4]. Н. В. Новикова и А. А. Лысенко связывают закрепление разрывов с «факторами второй природы» – агломерационными эффектами и инфраструктурой – и оценивают применяемые меры пространственной политики как малоэффективные [5]. Обратимся к арифметике: если Москва, Санкт-Петербург (12,95 трлн руб.), Московская область (10,88 трлн руб.), ХМАО (9,93 трлн руб.) и ЯНАО (6,34 трлн руб.) дают в сумме 81,1 трлн руб., то на 5 субъектов приходится 43,5% ВРП страны 2024 г. [1]. Концентрация такого масштаба означает, что любые общероссийские средние показатели описывают преимущественно столичный и нефтегазовый контур, а не типичный регион (рис. 2).

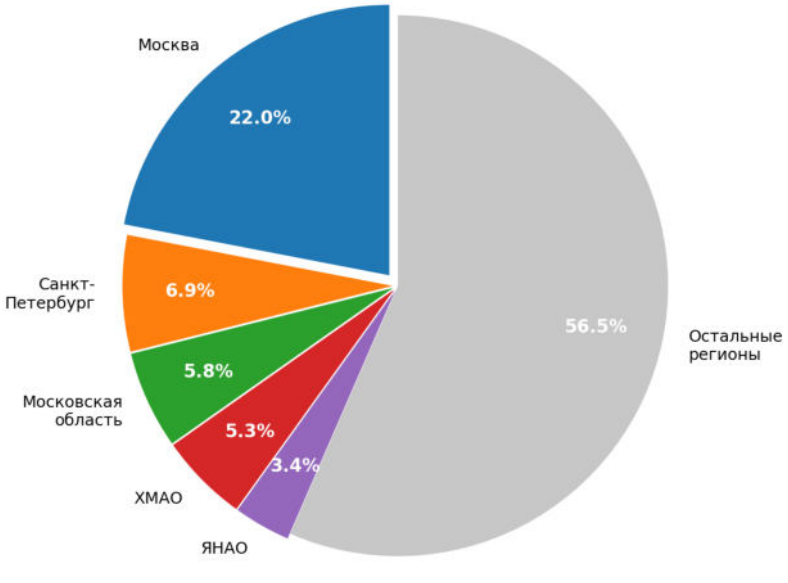


Рис. 2. Доля топ-5 субъектов РФ в суммарном ВРП страны, 2024 г. (суммарно 43,5 %).

Источник: рассчитано по данным Росстата [1].

2. Структурный сдвиг в пользу восточных территорий

На фоне этой устойчивой иерархии второй тренд выглядит парадоксально: наиболее быстрые темпы демонстрируют вовсе не лидеры по уровню. Максимальный номинальный рост ВРП в 2024 г. показали Чеченская Республика (+36,97%), Республика Калмыкия (+29,17%), Магаданская область (+29,14%), Амурская область (+26,89%) и Ленинградская область (+24,40%) [1]. В пересчёте на душу населения лидеры смещаются к Дальнему Востоку: Магаданская область (+28,99%), Амурская область (+27,24%), Забайкальский край (+23,80%), Хабаровский край (+22,78%) [1]. За десятилетие 2014–2024 гг. среднедушевой ВРП вырос в Магаданской области на 503%, в Амурской – на 375%, тогда как в Ингушетии – лишь на 79% [1]. Природа сдвига – инфраструктурные и добывающие мегапроекты вместе с переориентацией логистики на восточное направление (рис. 3, 4).

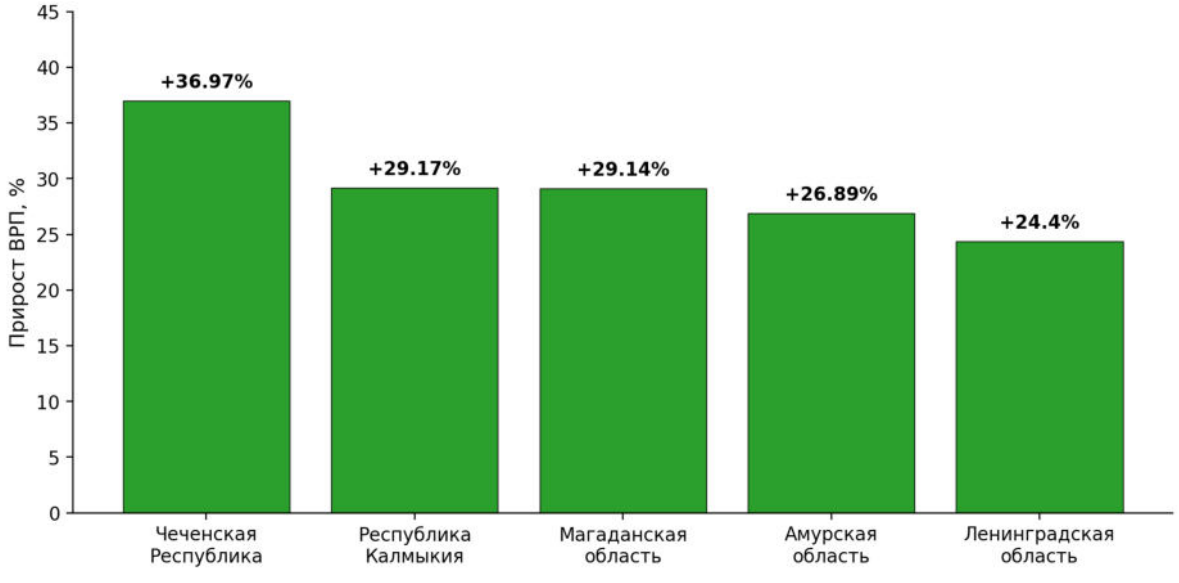


Рис. 3. Лидеры по номинальному приросту ВРП в 2024 г.

Источник: рассчитано по данным Росстата [1].

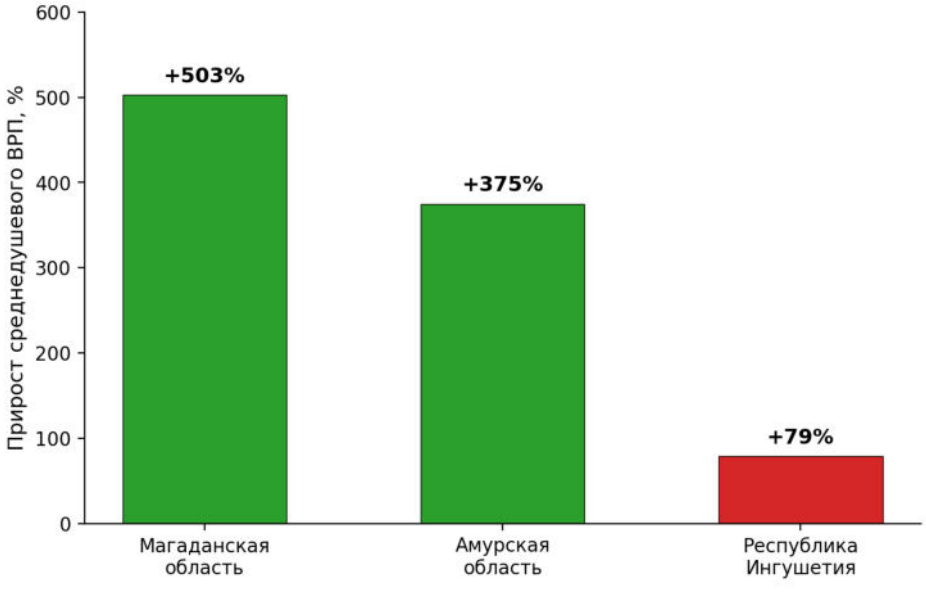


Рис. 4. Прирост среднедушевого ВРП за 2014–2024 гг.

Источник: рассчитано по данным Росстата [1].

У этого ускорения есть обратная сторона – торможение старопромышленных сырьевых территорий. Кемеровская область – Кузбасс потеряла 4,70% номинального ВРП за 2024 г., Мурманская область – 1,29%, а Сахалинская область прибавила лишь 4,18% [1]. Для номинальных показателей при двузначной инфляции спад означает существенное сжатие в физическом выражении. Модернизационный сценарий для таких территорий обосновывают исследования по макрорегионам, где структурная, пространственная и технологическая модернизация рассматривается как вынужденный ответ на внешние шоки [2]. Альтернативный сценарий, который представляется нам не менее вероятным: без углубления переработки восточные регионы воспроизведут кузбасскую траекторию через 7–10 лет, когда закончится текущая волна капитальных вложений. Отсюда логично перейти к фактору, который теоретически мог бы разорвать эту зависимость от сырьевого цикла, – к технологиям (рис. 5).

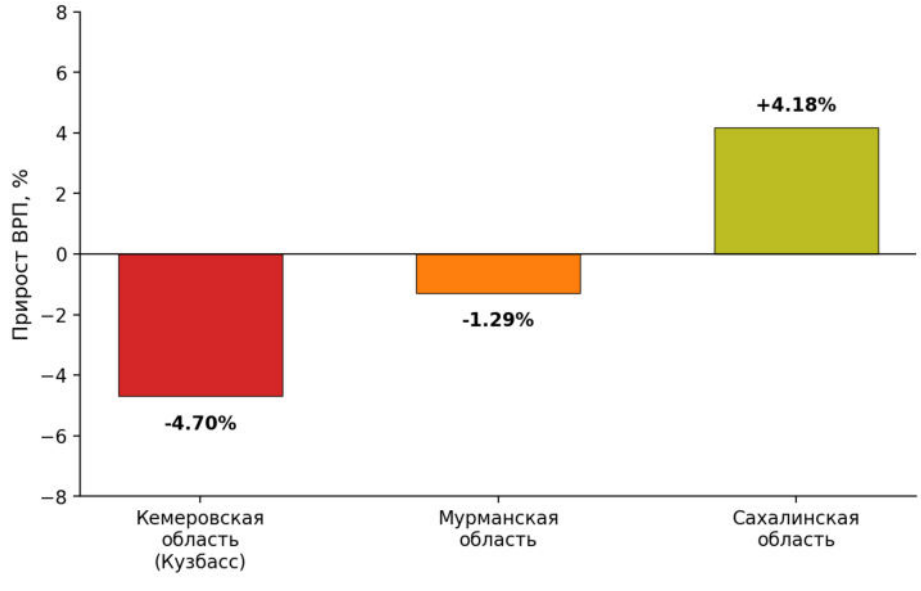


Рис. 5. Динамика ВРП старопромышленных и сырьевых территорий в 2024 г.

Источник: рассчитано по данным Росстата [1].

3. Неравномерность цифровой трансформации

Цифровая трансформация регионов превратилась из технологической задачи в самостоятельный фактор пространственного неравенства. Т. В. Миролюбова и Р. С. Николаев исходят из того, что стандартные индикаторы «цифровой зрелости» плохо ловят межотраслевые эффекты. Они разделяют цифровую экономику на ярусы и предлагают два рабочих измерителя: цифровой капитал (затраты на внедрение цифровых технологий и цифровые нематериальные активы по форме № 3-информ) и цифровой труд (занятые в секторе информационно-коммуникационных технологий плюс ИКТ-специалисты в остальных отраслях). На данных Росстата за 2021–2023 гг. субъекты РФ разложены на семь групп по величине цифрового капитала: ядра (более 100 млрд руб.), флагманы (50–100 млрд руб.), первый, второй и третий эшелоны, цифровая полупериферия и цифровая периферия [6]. В ядрах – Москве, Санкт-Петербурге и Московской области – сосредоточено более 70% общероссийского цифрового капитала и около 40% цифрового труда. За 2021–2023 гг. доля ядер в капитале снизилась на 2,6 п. п., но концентрация цифрового труда усилилась. Столичный контур не только держит активы, но и перетягивает кадры.

Республика Татарстан у Миролюбовой и Николаева попадает в группу флагманов: цифровой капитал выше 50 млрд руб., прирост капитала интенсивный, вклад в цифровой труд относительно устойчивый [6]. Рядом в этой же группе оказываются Новосибирская, Свердл-

ловская и Нижегородская области. Первый эшелон (20–50 млрд руб.) наращивает капитал, но теряет долю в труде; здесь же фиксируется дефицит ИТ-кадров – доля вакансий выше доли занятых. Полупериферия и периферия почти не меняют свои доли. Цифровая карта России повторяет уже известную иерархию ВРП, только с более резким отрывом трёх ядер.

Работа Т. В. Миролюбовой и М. В. Радионовой даёт другой срез той же проблемы. Авторы строят интегральные показатели цифровой трансформации и устойчивого развития, кластеризуют регионы по состоянию на 2020 г. и оценивают панельные регрессии внутри кластеров. Цифровой труд и цифровой капитал оказываются статистически сильными предикторами социально-экономических показателей. Прямая связь обнаружена и между долей промышленного производства в ВРП и уровнем цифровой трансформации: чем выше индустриальный вес, тем выше цифровой профиль территории. Одновременно рост доли обрабатывающих производств в ВРП связан со снижением интегрального показателя устойчивого развития [7]. Промышленная база облегчает цифровизацию, но не гарантирует сбалансированность социальной и экологической сторон. А. О. Вереникин и А. Ю. Вереникина, сопоставив плановые индикаторы цифровой зрелости 2022–2024 гг. по 82 регионам, фиксируют слабую связь между заявленными целями стратегий и фактической готовностью территорий [8].

Кейс Республики Татарстан позволяет проверить эти выводы на одном «сильном» регионе, а не на средней по стране. Ю. А. Кириченко оценивает цифровую зрелость республики по пяти отраслям (городская среда, транспорт и логистика, здравоохранение, образование, государственное управление). Индекс зрелости вырос с 77% в 2021 г. до 93,4% в 2022 г.; по отдельным контурам цифры ещё выше: безналичная оплата проезда – 97,5%, электронные медицинские карты – 95,8%, централизованные системы здравоохранения – 100% [9]. В 2022 г. регион занимал первое место в рейтинге цифровой зрелости. Это как раз тот тип территории, который у Миролюбовой попадает во флагманы: есть обрабатывающий сектор, нефтехимия, машиностроение и отдельный ИТ-контур. Зрелость госуслуг и городской среды, однако, ещё не то же самое, что производственное использование данных на предприятиях.

И. И. Исмагилов и Г. Алсаиед проверяют связь цифровых факторов с ростом на ряде 2010–2022 гг. для Татарстана через расширенную функцию Кобба–Дугласа. В спецификации по методу наименьших квадратов после отсева незначимых переменных значимыми остаются занятость и затраты на информационно-коммуникационные технологии ($R^2 = 0{,}945$); в нечёткой производственной функции R^2 повышается до 0,959, все коэффициенты положительны, сумма эластичностей больше единицы [10]. Авторы ранжируют факторы по силе так: труд, затраты на ИКТ, основной капитал, занятость в ИКТ-секторе. В регионе с уже собранной промышленной и налоговой базой цифровые расходы дают измеримый вклад в ВРП. Тот же результат нельзя механически переносить на цифровую периферию, где и капитал, и кадры малы. Формальное подключение к сетям само по себе разрыв не закрывает: технологический фактор наследует иерархию, а не ломает её [6][7].

4. Изменение фискальной базы регионов

Все перечисленные различия в конечном счёте оседают в бюджетах, что и составляет четвёртую тенденцию. А. Ш. Камалетдинов и А. А. Ксенофонтов измерили межрегиональное неравенство налоговых поступлений с помощью коэффициентов концентрации и показали, что распределение налоговой базы по субъектам РФ существенно более скошено, чем распределение населения [3]. Формально степень скошенности описывается коэффициентом Джини:

$$G = 1/(2n^2 \cdot \bar{x}) \cdot \Sigma\Sigma\, |x_i - x_j|,$$

где x – среднедушевой показатель i-го региона, n – число субъектов. Практический смысл расчёта в том, что при устойчиво высоком G перераспределение через федеральный бюджет остаётся не выравнивающей опцией, а условием функционирования большинства регионов.

Отраслевой профиль здесь решает больше, чем управленческие усилия: Республика Татарстан (1,36 млн руб. на душу) и Оренбургская область (1,13 млн руб.) в Приволжье опережают Республику Марий Эл (531,00 тыс. руб.) в 2,6 и 2,1 раза соответственно [1]. Татарстан здесь показателен дважды: это и флагман цифрового капитала [6], и регион с относительно плотной налоговой базой. Соседство с Марий Эл внутри одного округа ещё раз показывает, что отраслевой профиль и накопленный цифровой капитал работают сильнее, чем формальная принадлежность к макрорегиону [9, 10].

Выводы

Сведём наблюдения воедино. Проведённый анализ показал, что региональная экономика России в 2020–2024 гг. развивалась по модели «быстрый номинальный рост при сохранении иерархии». Суммарный ВРП увеличился со 139,50 трлн руб. (2022 г.) до 186,55 трлн руб. (2024 г.), однако разрыв по среднедушевому показателю не сократился и остался в диапазоне 66–70 раз [1]. Нами выявлено, что три из четырёх рассмотренных тенденций – дифференциация, восточный сдвиг и цифровые разрывы – усиливают друг друга: инвестиционный приток идёт в регионы с готовой ресурсной базой, а цифровые технологии осваиваются там, где уже сформирован обрабатывающий сектор [6, 7, 8]. Кейс Татарстана это подтверждает: высокая цифровая зрелость и значимый вклад затрат на ИКТ в ВРП наблюдаются там, где уже есть промышленная и фискальная база [9, 10]. Работы 2023–2025 гг. сходятся в оценке пространственной политики как недостаточно результативной [4, 5, 8]. Практический вывод: измерять успешность региональных стратегий целесообразно не по темпам ВРП, а по доле несырьевой добавленной стоимости и по фактическому применению цифровых технологий предприятиями, поскольку именно эти индикаторы отражают устойчивость территории к завершению инвестиционного цикла.

Список литературы

1. Валовой региональный продукт по субъектам Российской Федерации в 2016–2024 гг. (в текущих рыночных ценах): данные Росстата (счёт образования доходов; ВРП на душу населения) / Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts (дата обращения: 17.08.2026).

2. Лаврикова, Ю. Г. Неоднородность экономического развития российских макрорегионов / Ю. Г. Лаврикова, А. В. Суворова // Экономика региона. 2023. Т. 19, № 4. С. 934–948. ISSN 2072-6414. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-4-1. – URL: https://www.economyofregions.org/ojs/index.php/er/article/download/707/244/4751 (дата обращения: 17.08.2026).

3. Камалетдинов, А. Ш. Оценка межрегионального неравенства налоговых поступлений / А. Ш. Камалетдинов, А. А. Ксенофонтов // Финансы: теория и практика. – 2023. – Т. 27, № 1. – С. 63–75. ISSN 2587-5671. DOI: 10.26794/2587-5671-2023-27-1-63-75. EDN: TBORSU (дата обращения: 17.08.2026).

4. Кузнецова, О. В. Новые закономерности в современной динамике социально-экономического развития регионов России / О. В. Кузнецова // Региональные исследования. – 2023. – № 1 (79). – С. 19–30. ISSN 1994-5280. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-2. – URL: https://research.smolgu.ru/index.php/RI/article/view/95 (дата обращения: 17.08.2026).

5. Новикова, Н. В. Социально-экономическая дифференциация регионов России: основные тенденции и факторы формирования / Н. В. Новикова, А. А. Лысенко // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2023. – № 4 (76). Номер статьи 7646. ISSN 1999-2645. DOI: 10.24412/1999-2645-2023-476-46. – URL: https://eee-region.ru/article/7646/ (дата обращения: 17.08.2026).

6. Миролюбова, Т. В. Цифровая экономика и цифровая трансформация региональной экономики: измерение и особенности / Т. В. Миролюбова, Р. С. Николаев // Вестник Пермского университета. Серия «Экономика». – 2024. – Т. 19, № 3. – С. 340–354. ISSN 1994-9960. DOI:

10.17072/1994-9960-2024-3-340-354. EDN: XMIQWI. – URL: https://economics.psu.ru/index.php/econ/article/view/6 (дата обращения: 17.08.2026).

7. Миролюбова, Т. В. Цифровая трансформация и её влияние на социально-экономическое развитие российских регионов / Т. В. Миролюбова, М. В. Радионова // Экономика региона. – 2023. – Т. 19, № 3. – С. 697–710. ISSN 2072-6414. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-3-7. EDN: SZWEIP (дата обращения: 17.08.2026).

8. Вереникин, А. О. Потенциал цифровой трансформации: рейтинг регионов РФ / А. О. Вереникин, А. Ю. Вереникина // Экономика региона. 2024. Т. 20, № 4. С. 1008–1025. ISSN 2072-6414. DOI: 10.17059/ekon.reg.2024-4-3. – URL: https://www.economyofregions.org/ojs/index.php/er/article/download/747/352/7612 (дата обращения: 17.08.2026).

9. Кириченко, Ю. А. Влияние цифровизации экономики на социально-экономическое развитие региона (на примере Республики Татарстан) / Ю. А. Кириченко // Вестник Евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 3. – URL: https://esj.today/PDF/62ECVN323.pdf (дата обращения: 01.09.2026).

10. Исмагилов, И. И. Оценка влияния факторов цифровой трансформации на региональный экономический рост на основе регрессионного анализа / И. И. Исмагилов, Г. Алсаиед // Креативная экономика. – 2025. – Т. 19, № 5. – С. 1131–1146. DOI: 10.18334/ce.19.5.123184. URL: https://1economic.ru/lib/123184 (дата обращения: 01.09.2026).

УДК 004.94:656.13

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

Гатин М.Р., студент Института транспортных сооружений;
E-mail: maratonoff@gmail.com;
Хузиахметова К.Р., к.т.н., старший преподаватель кафедры цифровых дорожных технологий ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-5313-3147;
E-mail: karina261996@mail.ru

THE USE OF SIMULATION MODELING AND DATA PROCESSING ALGORITHMS FOR ASSESSING SERVICE QUALITY OF A RESIDENTIAL COMPLEX

Gatin M.R., student of the Institute of Transport Structures;
E-mail: maratonoff@gmail.com;
Khuziakhmetova K.R., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Digital Road Technologies, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-5313-3147;
E-mail: karina261996@mail.ru

Аннотация

Активное освоение окраины территорий крупных городов под жилищное строительство требует обоснованной оценки влияния дополнительной транспортной нагрузки на прилегающую улично-дорожную сеть. В статье представлены результаты имитационно-

го моделирования транспортных потоков на подъездах к жилому комплексу, выполненного в программном комплексе AnyLogic с использованием библиотеки Road Traffic Library и модели следования за лидером Gipps. На основе натурного обследования интенсивности движения и расчета перспективной нагрузки от жилого комплекса сформирована матрица корреспонденций транспортных потоков для шести направлений. Для автоматизации обработки результатов моделирования разработан комплекс Java-алгоритмов, позволяющих рассчитывать среднюю скорость, задержку, отношение скоростей, уровень обслуживания (Level of Service), плотность и интенсивность движения непосредственно в среде моделирования без ручного экспорта данных. Результаты показали, что после стабилизации потока на всех направлениях достигаются скорости 60-73 км/ч при незначительной задержке, что соответствует высоким уровням обслуживания и свидетельствует об отсутствии снижения качества транспортного обслуживания при перспективной нагрузке от жилого комплекса. Показана перспективность интеграции разработанных алгоритмов с методами искусственного интеллекта для калибровки моделей и прогнозирования показателей качества обслуживания.

Ключевые слова: имитационное моделирование, AnyLogic, транспортные потоки, программирование, алгоритм, уровень обслуживания, жилой комплекс, автоматизация обработки данных

Abstract

The active development of peripheral territories of large cities for housing construction requires a well-founded assessment of the impact of additional traffic load on the adjoining road network. The article presents the results of agent-based microsimulation of traffic flows on the access routes to a residential complex, performed in the AnyLogic software package using the Road Traffic Library and the Gipps car-following model. Based on a field survey of traffic intensity and a calculation of the prospective load generated by the residential complex, a traffic flow correspondence matrix was formed for six directions. To automate the processing of simulation results, a set of Java algorithms was developed, allowing the calculation of average speed, delay, speed ratio, level of service (LOS), density, and intensity directly within the simulation environment without manual data export. The results showed that, after the flow stabilizes, all directions reach speeds of 60-73 km/h with negligible delay, corresponding to high levels of service and indicating no degradation of the quality of transport service under the prospective load from the residential complex. The prospects for integrating the developed algorithms with artificial intelligence methods for model calibration and forecasting of service quality indicators are outlined.

Keywords: simulation modeling, AnyLogic, traffic flow, programming, algorithm, level of service, residential complex, automated data processing

1. Введение

Цифровая трансформация транспортной отрасли характеризуется все более широким применением методов компьютерного моделирования и алгоритмизации обработки данных на всех этапах жизненного цикла транспортных объектов – от прогнозирования нагрузки на этапе территориального планирования до эксплуатации интеллектуальных транспортных систем. Активное освоение окраины территорий крупных городов под жилищное строительство сопровождается ростом транспортной нагрузки на прилегающую улично-дорожную сеть (далее – УДС) и требует обоснованной оценки ее пропускной способности еще на стадии проектирования [1, 2].

Оценка качества транспортного обслуживания пользователей УДС является комплексной многофакторной задачей [3], для решения которой в отечественной и зарубежной практике все чаще применяются методы имитационного (микроскопического) моделирования транспортных потоков [4-6], позволяющие воспроизвести индивидуальное поведение каж-

дого транспортного средства и получить детализированные показатели скорости, задержки, плотности и интенсивности движения на конкретных участках сети.

Одновременно с развитием инструментов имитационного моделирования все большую роль в инженерной практике играет программирование: разработка собственных алгоритмов обработки результатов расчетов и параметрических скриптов становится неотъемлемой частью работы проектировщика – от визуального программирования геометрических моделей [7] до автоматизации сложных инженерных расчетов. Аналогичная тенденция прослеживается в сфере компьютерного зрения и искусственного интеллекта, методы которого (в том числе нейросетевые детекторы объектов [14]) находят применение в мониторинге транспортных потоков и занятости парковочных пространств.

В этой связи актуальной задачей является не только построение адекватной имитационной модели транспортных потоков, но и разработка сопутствующих программных средств, обеспечивающих автоматизированную и воспроизводимую обработку результатов моделирования непосредственно в среде расчета.

Целью настоящей работы является имитационное моделирование транспортных потоков на подъезде к жилому комплексу и разработка комплекса алгоритмов автоматизированной обработки и классификации результатов моделирования для оценки уровня обслуживания транспортных потоков.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– обработать данные натурного обследования интенсивности движения и сформировать матрицу корреспонденций транспортных потоков;

– построить имитационную модель транспортных потоков в программном комплексе AnyLogic с использованием библиотеки Road Traffic Library;

– разработать набор программных алгоритмов для автоматизированного расчета и классификации показателей качества транспортного обслуживания непосредственно в среде моделирования;

– проанализировать полученные результаты и оценить уровень обслуживания транспортных потоков на исследуемых направлениях.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являются примыкание к проектируемому жилому комплексу, расположенному на окраине крупного города, в месте примыкания внутриквартальной улично-дорожной сети к прилегающей автомобильной дороге.

Натурное обследование интенсивности движения проведено 27 ноября 2025 г. в период утреннего часа пик (7:30-8:30) методом видеофиксации с последующей покадровой обработкой. По результатам обследования интенсивность движения по прилегающей автомобильной дороге составила 1360 авт./ч в одном направлении и 1775 авт./ч во встречном.

Дополнительная транспортная нагрузка от проектируемого жилого комплекса определена исходя из расчетного количества машино-мест на объекте и коэффициента подвижности в час пик 30%, принятого по методическим рекомендациям Минтранса России [15]:

$$P = \frac{(N_{пост} + N_{гост} + N_{эзс} + N_{мгн}) \cdot 30\%}{100\%}, \text{ авт/час.}$$

где $N_{пост}$, $N_{гост}$, $N_{эзс}$, $N_{мгн}$ – количество машино-мест для постоянного и временного хранения автомобилей, электрозарядных станций и маломобильных групп населения соответственно.

Полученное значение перспективной нагрузки распределено между внутриквартальными направлениями по данным натурного обследования (рис. 1).

Итоговая матрица корреспонденций транспортных потоков между контрольными сечениями A-E (A, B – прилегающая автомобильная дорога; C, D, E – внутриквартальные проезды), являющаяся ключевым входным параметром модели, приведена в табл. 1.

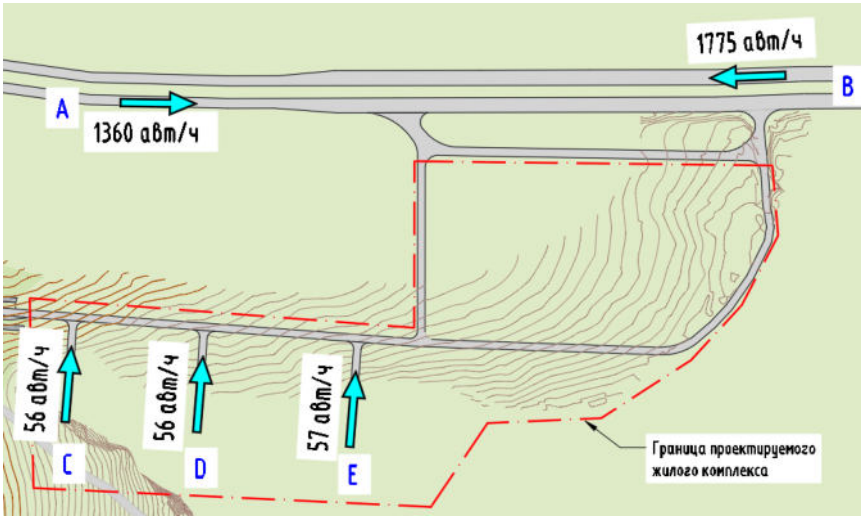


Рис. 1. Интенсивность транспортных потоков в утренний час-пик

Таблица 1

Матрица корреспонденций транспортных потоков, %

Откуда \ Куда	A	B	C	D	E
A	0	95	1,5	2	1,5
B	100	0	8	0	0
C	0	110	0	0	0
D	0	100	0	0	0
E	0	100	0	0	0

Имитационное моделирование транспортных потоков выполнено в программном комплексе AnyLogic (версия 8.9) с использованием библиотеки Road Traffic Library. Методологическую основу модели составляет сочетание дискретно-событийного и агентного подходов: каждый автомобиль представлен агентом, движущимся по дорожной сети в соответствии с моделью следования за лидером Gipps [10]. Пространственная основа модели – векторная схема участка сети, построенная на основе картографических данных OpenStreetMap и скорректированная по результатам натурного обследования.

Входными параметрами модели являются матрица корреспонденций (таблица 1), интенсивности потоков по контрольным сечениям и геометрические параметры пересечений. Время моделирования составило 60 минут (утренний час пик), шаг интегрирования – 1 секунда, продолжительность разогрева модели – 10 минут. Выходные показатели – среднее время в пути, задержка, плотность, интенсивность и скорость – вычислялись отдельно для шести направлений: A-C, A-D, A-E, C-B, D-B, E-B.

Автоматизация обработки результатов моделирования

Встроенные средства визуализации AnyLogic (элементы «Временной график») позволяют выводить значения статистических объектов модели, однако не содержат средств инженерной интерпретации результатов – приведения их к стандартизированным показателям качества обслуживания. Для устранения этого ограничения был разработан набор Java-методов (рис. 2), рассчитывающих на основе накопленной статистики (объекты статистики среднего времени в пути stat0...stat6, по одному на каждое из шести направлений) следующие показатели:

getAvgSpeed(i) – среднюю скорость движения на направлении i, вычисляемую по длине маршрута и среднему времени в пути;

getDelay(i) – задержку движения относительно времени в пути в свободных условиях (при скорости свободного потока freeFlowSpeed[i]);

getSpeedRatio(i) – отношение фактической средней скорости к скорости свободного потока;

getLOS(i) – уровень обслуживания (Level of Service, A-F) на основе граничных значений отношения скоростей, принятых в отечественной и международной практике оценки качества обслуживания транспортных потоков [3, 4];

getDensity(i, carsOn) – плотность потока как отношение числа автомобилей, находящихся на маршруте в текущий момент (carsOnRoute[i]), к длине маршрута;

getThroughput(i) – интенсивность движения на направлении, приведенную к часовому измерению.

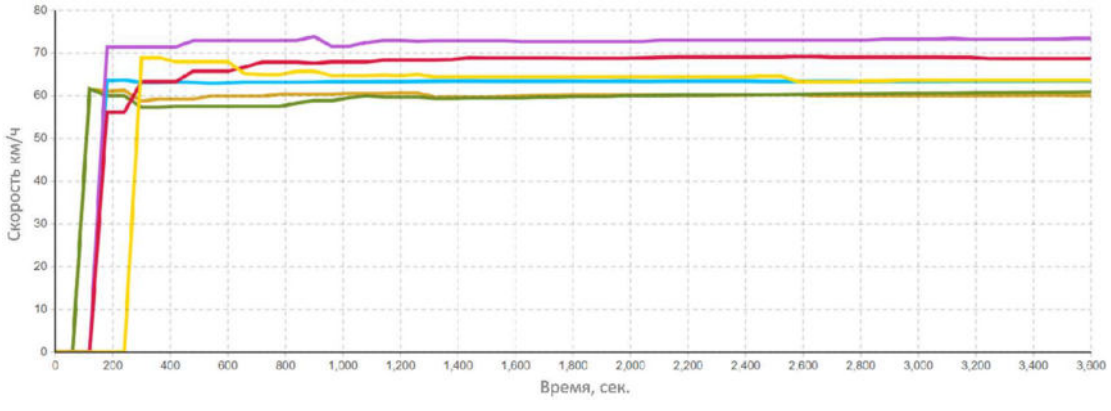
```
public double getAvgSpeed(int i) {
   double[] means = {stat0.mean(), stat1.mean(), stat2.mean(), stat3.mean(), stat4.mean(), stat5.
mean(), stat6.mean()};
   if (means[i] == 0) return 0;
   return (routeLength[i] / means[i]) * 3600;
}
public double getDelay(int i) {
   double[] means = {stat0.mean(), stat1.mean(), stat2.mean(), stat3.mean(), stat4.mean(), stat5.
mean(), stat6.mean()};
   double freeT = (routeLength[i] / freeFlowSpeed[i]) * 3600;
   return Math.max(0, means[i] - freeT);
}
public double getSpeedRatio(int i) {
   if (freeFlowSpeed[i] == 0) return 0;
   return getAvgSpeed(i) / freeFlowSpeed[i];
}
public String getLOS(int i) {
   double r = getSpeedRatio(i);
   if (r > 0.90) return "A";
   if (r > 0.70) return "B";
   if (r > 0.50) return "C";
   if (r > 0.40) return "D";
   if (r > 0.33) return "E";
   return "F";
}
public double getDensity(int i, double carsOn) {
   if (routeLength[i] == 0) return 0;
   return carsOn / routeLength[i];
}
public double getThroughput(int i) {
   double simTime = time() / 3600.0;
   if (simTime == 0) return 0;
   double[] counts = {stat0.count(), stat1.count(), stat2.count(), stat3.count(), stat4.count(), stat5.
count(), stat6.count()};
   return counts[i] / simTime;
}
```

Рис. 2. Листинг 1 – Java-методы автоматизированной обработки статистики модели в AnyLogic

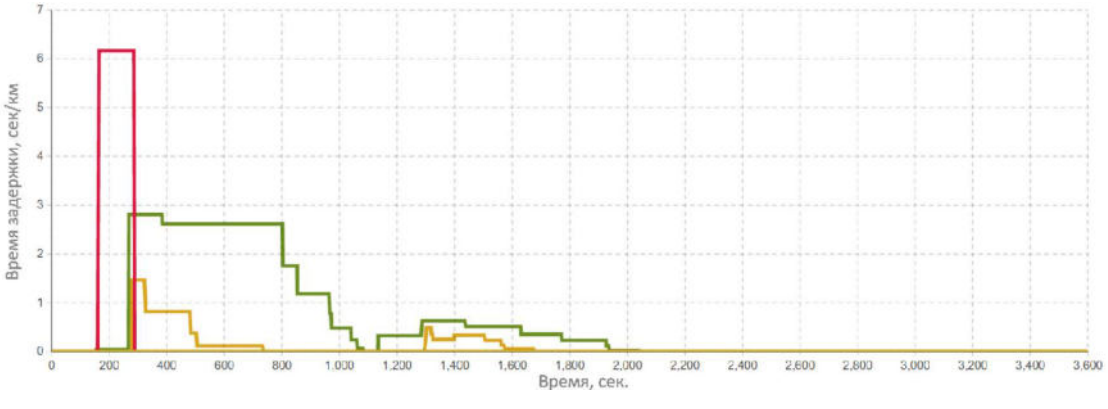
Полученные методы были подключены непосредственно к элементам «Временной график» модели в качестве выражений поля «Значение» (например, getAvgSpeed(0) для направления A-C), что обеспечило автоматическое построение графиков скорости, задержки и плотности (рис. 3) без ручного экспорта данных во внешние приложения.

3. Результаты и обсуждения

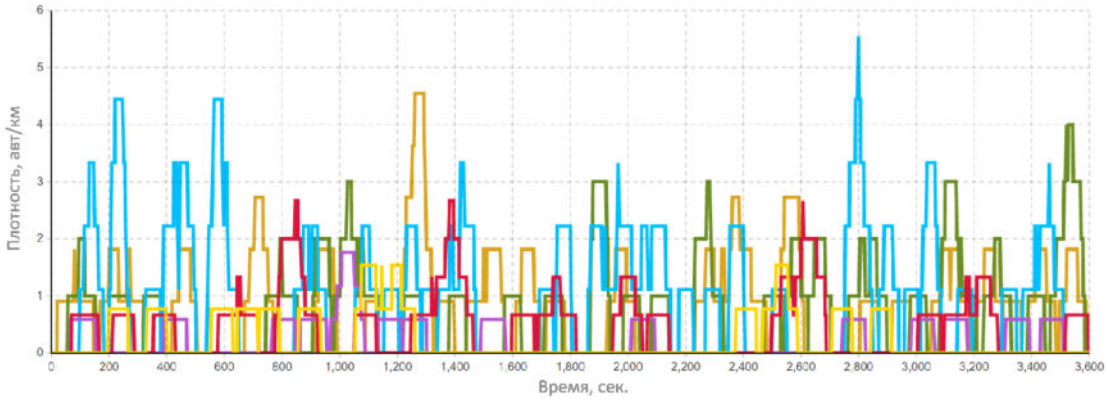
По результатам моделирования получены графики изменения скорости (рис. 3, а), задержки (рис. 3, б) и плотности потока (рис. 3, в) транспортных средств для шести исследуемых направлений, а также усредненные значения основных показателей (табл. 2).



а



б



в

Рис. 3. Результаты моделирования по направлениям по показателям:
а – скорости движения транспортных средств; *б* – задержки транспортных средств;
в – плотности потока транспортных средств

Таблица 2

Усредненные значения основных показателей моделирования

Показатель	Ед. изм.	A-C	A-D	A-E	C-B	D-B	E-B
Время в пути	сек	66,00	59,12	51,04	83,40	78,65	73,53
Скорость	км/ч	60,05	59,64	63,33	72,85	68,21	64,66
Задержка	сек/км	0,38	1,10	0	0	6,17	0
Плотность	авт/км	1,38	0,74	1,80	0,65	0,84	0,87
Интенсивность	авт/ч	43,07	29,84	76,94	16,00	26,93	19,88

Анализ графика скорости (рис. 3, а) показывает, что после непродолжительного переходного периода продолжительностью 150-300 с, соответствующего заданному времени разогрева модели, скорости движения на всех направлениях стабилизируются на уровне 60-73 км/ч и сохраняют это значение на протяжении всего периода моделирования, что свидетельствует об отсутствии устойчивых заторовых явлений.

На графике задержки (рис. 3, б) отмечается кратковременный пик до 6,17 сек/км на направлении D-B в начальный период моделирования (до 800 с), связанный с ожиданием разрыва в потоке при выезде с второстепенного направления на пересечении в условиях еще не сформировавшегося установившегося режима движения. По мере стабилизации потока задержка снижается до нуля на большинстве направлений уже после 1200-2000 с моделирования.

Колебания плотности потока (рис. 3, в) в диапазоне 0-5,5 авт./км носят стохастический характер и обусловлены дискретным характером прибытия транспортных средств при относительно невысокой интенсивности движения на внутриквартальных направлениях (16-77 авт./ч по данным таблицы 2), а не устойчивым скоплением автомобилей.

Применение разработанных алгоритмов getSpeedRatio() и getLOS() к результатам установившегося режима моделирования (после 1000 с) показало, что достигнутые средние скорости движения (60,05-72,85 км/ч) близки к скорости свободного потока для рассматриваемой категории дорог, что соответствует высоким уровням обслуживания (A-B) на всех шести направлениях. Таким образом, дополнительная транспортная нагрузка, создаваемая проектируемым жилым комплексом, может быть воспринята существующей и проектируемой улично-дорожной сетью без снижения качества транспортного обслуживания.

Помимо содержательных инженерных выводов, применение разработанного комплекса алгоритмов позволило исключить этап ручного экспорта статистики модели во внешние приложения для расчета, обеспечив воспроизводимость и оперативность получения результатов при сравнении альтернативных сценариев развития улично-дорожной сети. Дальнейшее развитие предложенного подхода видится в интеграции разработанных алгоритмов с методами искусственного интеллекта – например, для автоматической калибровки параметров модели по данным видеомониторинга транспортных потоков [14] или прогнозирования показателей качества обслуживания при изменении параметров застройки.

4. Выводы

1. По результатам натурного обследования и расчета перспективной транспортной нагрузки от проектируемого жилого комплекса сформирована матрица корреспонденций транспортных потоков между контрольными сечениями, использованная в качестве входного параметра имитационной модели.

2. В программном комплексе AnyLogic с применением библиотеки Road Traffic Library и модели следования за лидером Gipps построена имитационная модель транспортных потоков подъездных направлений к жилому комплексу, позволившая получить показатели времени в пути, скорости, задержки, плотности и интенсивности движения для шести направлений.

3. Разработан комплекс программных алгоритмов (getAvgSpeed, getDelay, getSpeedRatio, getLOS, getDensity, getThroughput), обеспечивающих автоматизированный расчет и классификацию показателей качества транспортного обслуживания непосредственно в среде имитационного моделирования без ручного экспорта данных.

4. Результаты моделирования показали, что на всех шести направлениях после стабилизации потока достигаются скорости 60–73 км/ч при незначительной задержке, что соответствует высоким уровням обслуживания (A-B) и свидетельствует об отсутствии снижения качества транспортного обслуживания при перспективной нагрузке от жилого комплекса.

5. Разработанный подход к автоматизации обработки результатов моделирования может быть расширен методами искусственного интеллекта для калибровки моделей и прогнозирования показателей качества обслуживания транспортных потоков.

Список литературы

1. Мусабиров, Т. А. Предпосылки развития точек роста Казанской агломерации / Т. А. Мусабиров, Ю. А. Закирова // Известия КГАСУ. – 2024. – № 2 (68). – С. 159-169.

2. Ильина, А. С. Особенности формирования транспортно-пересадочных узлов в планировочной структуре крупных городов и агломераций / А. С. Ильина, Л. Ф. Закиева // Известия КГАСУ. – 2025. – № 1 (71). – С. 181-191.

3. Поспелов, П. И. Оценка уровней удобства движения пользователей наземного общественного транспорта на улично-дорожной сети города средней крупности / П. И. Поспелов, А. В. Косцов, Т. К. Комарова, В. В. Васильев // Известия КГАСУ. – 2025. – № 2 (72). – С. 192-201. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/72.17.

4. Комарова, Т. К. Исследование параметров движения транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети в городских условиях / Т. К. Комарова, П. И. Поспелов, Д. С. Мартяхин // Известия КГАСУ. – 2024. – № 4 (70). – С. 285-293.

5. Мартяхин, Д. С. Оценка качества транспортного обслуживания при различных видах передвижения в городах / Д. С. Мартяхин, Т. К. Комарова, П. И. Поспелов // Известия КГАСУ. – 2024. – № 4 (70). – С. 306-314.

6. Косцов, А. В. Скорость движения автомобилей при съезде с магистральных городских дорог скоростного движения / А. В. Косцов, А. М. Танатова // Известия КГАСУ. – 2024. – № 3 (69). – С. 58-67.

7. Комарова, Т. К. Комплексный анализ работоспособности элементов улично-дорожной сети городов: вариантное проектирование нерегулируемых примыканий / Т. К. Комарова, П. И. Поспелов, С. С. Мордвин // Известия КГАСУ. – 2025. – № 1 (71). – С. 6-16.

8. Шумилов, К. А. Моделирование стержневых и полигональных конструкций сложной геометрии с использованием программы Grasshopper / К. А. Шумилов, Ю. А. Гурьева // Известия КГАСУ. – 2023. – № 3 (65). – С. 257-269. DOI: 10.52409/20731523_2023_3_257.

9. Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов : монография / М. Р. Якимов. – Москва : Логос, 2013. – 188 с.

10. Gipps, P.G. A behavioural car-following model for computer simulation // Transportation Research Part B: Methodological. – 1981. – Volume 15. – № 2. – P. 105-111.

11. Chen, M. Modeling and Simulation Analysis of Road Network Based on VISSIM // Proceedings – 2019 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City, ICITBS 2019. – 2019.

12. The AnyLogic Company. AnyLogic Simulation Software. – URL: https://www.anylogic.com (дата обращения: 25.08.2026).

13. The AnyLogic Company. Road Traffic Library User Guide. – URL: https://anylogic.help (дата обращения: 25.08.2026).

14. Jocher, G. Ultralytics YOLO Documentation / G. Jocher, A. Chaurasia, J. Qiu. – 2025. – URL: https://docs.ultralytics.com (дата обращения: 25.08.2026).

15. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения : утв. приказом Минтранса России от 27.12.2022 № АК-337-р.

16. О местных нормативах градостроительного проектирования городского округа Казань : решение Казанской городской Думы от 14.12.2016 № 8–12 (ред. от 30.01.2026).

УДК 681.324:004.89

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКОЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Гостев В.М., старший преподаватель Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»; руководитель проектов ООО «Элина Компьютер», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1408-1011;
E-mail: gvm@kpfu.ru

DATA NETWORK DESIGN ARCHITECTURE WITH INTELLIGENT DECISION-MAKING

Gostev V.M., Senior Lecturer, Institute of Computational Mathematics and Information Technology, Kazan Federal University; Project Manager, Elina Computer LLC, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-1408-1011;
E-mail: gvm@kpfu.ru

Аннотация

В статье рассматривается архитектура системы проектирования сетей передачи данных с интеллектуальной поддержкой принятия решений. Проектирование сетей передачи данных представляет собой сложную многокритериальную проблему, связанную с формированием структуры сети, выбором маршрутов передачи данных, определением параметров каналов и узлов, а также оценкой качества и эффективности вариантов проектируемых сетей. Рассматриваются особенности архитектуры системы оптимизации проектирования сетей передачи данных (СОПР СПД), обеспечивающей поддержку процесса формирования, оценки и выбора вариантов проектных решений. В состав СОПР СПД входят функциональные подсистемы, реализующие основные процедуры проектирования, а также обеспечивающие подсистемы, формирующие информационно-технологическую среду системы. Особенностью СОПР СПД является возможность автоматического формирования имитационных моделей проектируемых сетей и проведения экспериментов на базе системы распределенного имитационного моделирования.

Рассматривается дальнейшее развитие архитектуры СОПР СПД на основе применения интеллектуальных компонентов, формирующих интеллектуальный контур поддержки принятия решений. Такой подход предусматривает взаимодействие интеллектуальных агентов с функциональными и обеспечивающими подсистемами системы, комплексное моделирование сетей с использованием аналитических и имитационных моделей, а также поддержку различных режимов взаимодействия проектировщика с системой. В качестве одного из технологических средств реализации интеллектуальных компонентов рассматриваются большие языковые модели (Large Language Models, LLM).

Средства интеллектуальной поддержки не заменяют проектировщика, а расширяют его возможности при анализе требований, исследовании пространства вариантов и принятии проектных решений. Предлагаемый подход соответствует принципам человеко-ориентиро-

ванного искусственного интеллекта (Human-Centered AI) и направлен на развитие системы проектирования сетей передачи данных на основе взаимодействия человека и интеллектуальных программных средств.

Ключевые слова: система проектирования сетей передачи данных; система оптимизации проектирования сетей передачи данных; архитектура системы проектирования; функциональные подсистемы; обеспечивающие подсистемы; интеллектуальная поддержка принятия решений; интеллектуальные агенты; большие языковые модели; гибридный интеллект; имитационное моделирование

Abstract

The article considers the architecture of a data transmission network design system with intelligent decision support. Data transmission network design is a complex multi-criteria problem associated with the formation of network structure, selection of data transmission routes, determination of parameters of communication channels and network nodes, as well as evaluation of the quality and efficiency of designed network alternatives. The architectural features of the Program System for Design Optimization of Data Transmission Networks (PSDOTN) are considered. The system supports the process of generating, evaluating, and selecting design solution alternatives. The architecture includes functional subsystems implementing the main design procedures, as well as supporting subsystems that form the information and technological environment of system operation. A specific feature of PSDOTN is the capability of automatic generation of simulation models of designed networks and conducting experiments based on a distributed simulation modeling system.

The further development of the PSDOTN architecture based on the application of intelligent components forming an intelligent decision-support loop is considered. This approach involves the interaction of intelligent agents with functional and supporting subsystems of PSDOTN, integrated network modeling using analytical and simulation models, as well as support for various modes of interaction between the designer and the system. LLM (Large Language Models) are considered as one of the technological tools for implementing intelligent components.

Intelligent support tools do not replace the designer but extend their capabilities in requirements analysis, exploration of the solution space, and design decision-making. The proposed approach corresponds to the principles of Human-Centered AI (Human-Centered Artificial Intelligence) and is aimed at developing data transmission network design systems based on interaction between humans and intelligent software tools.

Keywords: Program System for Design Optimization of Data Transmission Networks; data transmission network design; system architecture; functional subsystems; supporting subsystems; intelligent decision support; intelligent agents; Large Language Models; Hybrid Intelligence; simulation modeling

1. Введение

Проектирование сетей передачи данных (далее – СПД) представляет собой сложную многокритериальную проблему, включающую комплекс взаимосвязанных подпроблем: формирование структуры и топологии сети, определение маршрутов передачи данных, выбор пропускных способностей каналов и узлов, а также оценку качества и эффективности функционирования проектируемых сетей.

Архитектура сложной системы определяет состав основных компонентов, принципы их организации и взаимодействия, обеспечивая основу для анализа, разработки и дальнейшего развития системы [1, 2].

Традиционные подходы к проектированию СПД основаны на применении аналитических и имитационных моделей, методов теории массового обслуживания, а также методов теории графов для исследования сетевых структур и потоков. Однако увеличение масштабов проектируемых сетей, постоянный рост объемов сетевого трафика, необходимость оценки

прогнозируемой нагрузки, расширение пространства возможных вариантов, а также наличие противоречивых критериев и ограничений усложняют проблему проектирования, что, в свою очередь, приводит к усложнению процесса формирования и выбора допустимых и реализуемых вариантов проектных решений.

В статье рассматриваются основные особенности архитектуры системы проектирования сетей передачи данных, обеспечивающей поддержку процесса формирования, оценки и выбора вариантов проектных решений.

Система оптимизации проектирования сетей передачи данных (далее – СОПР СПД) обеспечивает поддержку процесса формирования и оценки вариантов проектных решений, включая выбор структуры сети, определение маршрутов передачи данных, выбор пропускных способностей каналов и узлов, а также оценку качества и эффективности функционирования проектируемых сетей [3].

Одной из особенностей СОПР СПД является автоматическое формирование имитационных моделей проектируемых сетей, проведение имитационных экспериментов в распределенной среде моделирования и последующий анализ результатов. Такой подход позволяет сопоставлять результаты аналитического и имитационного моделирования, обеспечивая более детальный анализ вариантов проектных решений [4, 5].

Текущий этап развития СОПР СПД связан с исследованием возможностей применения технологий искусственного интеллекта для расширения функций поддержки принятия решений. Перспективным направлением является использование методов гибридного интеллекта (Hybrid Intelligence), основанных на различных режимах взаимодействия интеллектуальных программных компонентов и проектировщика при формировании, оценке и выборе вариантов проектных решений [6].

В рамках такого подхода интеллектуальные агенты могут использоваться для анализа требований, формирования вариантов проектных решений, взаимодействия с аналитическими и имитационными моделями, оценки результатов моделирования и подготовки рекомендаций проектировщику. При этом, в соответствии с принципами человеко-ориентированного искусственного интеллекта (Human-Centered AI) [7], выбор и принятие проектных решений остаются за проектировщиком.

2. Архитектура системы проектирования сетей передачи данных

Архитектура СОПР СПД отражает структурно-функциональную организацию процесса проектирования сетей передачи данных.

Логическую структуру СОПР СПД образуют функциональные и обеспечивающие подсистемы. Функциональные подсистемы реализуют основные процедуры проектирования, связанные с формированием, оценкой и выбором вариантов проектных решений. Обеспечивающие подсистемы формируют информационную, технологическую и организационную среду функционирования СОПР СПД и в меньшей степени зависят от особенностей объекта проектирования.

К обеспечивающим подсистемам относятся, в частности, средства взаимодействия с проектировщиком, подсистема информационного обеспечения, включающая базы данных, архивы проектов, нормативно-справочную информацию и средства формирования проектной документации.

В состав функциональных подсистем СОПР СПД входят подсистемы структурно-топологического проектирования (далее – СТП), выбора маршрутов (далее – ВМ), выбора пропускных способностей (далее – ВПС) каналов передачи данных и узлов коммутации, оценки качества и эффективности функционирования (далее – ОКЭФ) проектируемых СПД, а также имитационного моделирования (далее – ИМ).

Подсистема СТП обеспечивает формирование вариантов структуры сети на основе исходных данных и с учетом заданных ограничений. Подсистема ВМ обеспечивает формирование и оценку вариантов маршрутов передачи данных. Подсистема ВПС обеспечивает фор-

мирование и оценку вариантов выбора пропускных способностей каналов передачи данных и узлов коммутации.

Подсистема ОКЭФ обеспечивает оценку сформированных вариантов проектных решений на основе аналитических моделей функционирования СПД. При этом определяются характеристики функционирования сети, включая средние и максимальные значения задержек информационных блоков в каждом канале и узле, а также в СПД в целом.

Подсистема ИМ обеспечивает автоматическое формирование имитационных моделей проектируемых сетей на основе описания вариантов СПД, проведение имитационных экспериментов в распределенной среде моделирования и последующий анализ результатов.

Таким образом, архитектура СОПР СПД включает функциональные подсистемы, реализующие процедуры проектирования, и обеспечивающие подсистемы, создающие среду их взаимодействия с проектировщиком и информационными ресурсами системы.

3. Развитие архитектуры СОПР СПД на основе интеллектуальной поддержки принятия решений

Дальнейшее развитие архитектуры СОПР СПД связано с применением интеллектуальных технологий, обеспечивающих расширение возможностей проектировщика при формировании, оценке и выборе вариантов проектных решений. При этом интеллектуальные средства позиционируются не как обособленные модули или альтернатива традиционным функциональным подсистемам, а как инструмент перехода на качественно новый уровень взаимодействия проектировщика с системой.

Перспективные интеллектуальные технологии позволяют организовать анализ неформализованных требований, интерпретацию результатов аналитического и имитационного моделирования, формирование вариантов проектных решений и координацию взаимодействия различных средств проектирования.

Концептуальная архитектура развития СОПР СПД на основе интеллектуального контура поддержки принятия решений представлена на рис. 1.



Рис. 1. Развитие архитектуры СОПР СПД
на основе интеллектуального контура поддержки принятия решений

Перспективным направлением является использование методов гибридного интеллекта (Hybrid Intelligence), обеспечивающих различные режимы взаимодействия проектировщика с системой при использовании интеллектуальных программных компонентов.

Особенностью рассматриваемого подхода является формирование интеллектуального контура поддержки принятия решений, обеспечивающего взаимодействие проектировщика с функциональными и обеспечивающими подсистемами СОПР СПД. Такой контур использует функции системы, информационные ресурсы, результаты аналитического и имитационного моделирования, расширяя возможности анализа и оценки вариантов проектных решений.

Для реализации интеллектуальной поддержки в СОПР СПД рассматривается применение интеллектуальных агентов, обеспечивающих взаимодействие проектировщика с системой и функциональными подсистемами СОПР СПД. Современные исследования в области LLM-based agents показывают возможность построения интеллектуальных программных компонентов, способных использовать большие языковые модели для анализа информации, планирования действий, взаимодействия с внешними инструментами и выполнения специализированных задач [8].

Интеллектуальные агенты могут выполнять специализированные функции, связанные с анализом требований, подготовкой вариантов решений, обращением к средствам моделирования, обработкой результатов расчетов и формированием рекомендаций проектировщику.

Использование интеллектуальных технологий в задачах проектирования рассматривается как одно из перспективных направлений развития систем поддержки проектных решений. Методы искусственного интеллекта могут применяться на различных этапах проектирования – от анализа требований и формирования вариантов до оценки и выбора проектных решений [9].

В качестве одного из технологических средств реализации интеллектуальных компонентов могут использоваться большие языковые модели (Large Language Models, LLM), обеспечивающие анализ проектных задач, поддержку диалога с проектировщиком, интерпретацию результатов моделирования и подготовку вариантов решений.

Важной особенностью интеллектуальной поддержки является использование накопленной информации, содержащейся в обеспечивающих подсистемах СОПР СПД, включая данные о предыдущих проектах, нормативно-справочную информацию и результаты выполненных исследований. Это позволяет расширить возможности применения интеллектуальных средств при решении новых проектных задач.

В зависимости от режима взаимодействия проектировщик задает параметры работы интеллектуальных компонентов, анализирует и корректирует результаты их работы. При этом на отдельных этапах и итерациях процесса проектирования взаимодействие программных компонентов системы может осуществляться без непосредственного участия проектировщика.

Таким образом, интеллектуальный контур не заменяет проектировщика и существующие средства проектирования, а обеспечивает новый уровень взаимодействия между специалистом, функциональными подсистемами, информационными ресурсами и средствами моделирования.

4. Заключение

В статье рассмотрены вопросы развития архитектуры системы проектирования сетей передачи данных, связанные с применением интеллектуальных технологий для поддержки процесса формирования, оценки и выбора вариантов проектных решений.

Основное внимание уделено развитию архитектуры СОПР СПД за счет формирования интеллектуального контура поддержки принятия решений, обеспечивающего взаимодей-

ствие проектировщика с функциональными и обеспечивающими подсистемами СОПР СПД. Интеллектуальная поддержка рассматривается как средство расширения возможностей проектировщика при анализе требований, формировании, оценке и сравнении вариантов проектных решений.

Рассматриваемое направление развития предусматривает использование интеллектуальных компонентов, включая интеллектуальных агентов и большие языковые модели. При этом интеллектуальные средства не заменяют существующие механизмы проектирования и не исключают участия специалиста в принятии окончательных решений.

Дальнейшее развитие архитектуры СОПР СПД связано с реализацией различных режимов взаимодействия проектировщика с системой на принципах гибридного интеллекта. Такой подход соответствует принципам человеко-ориентированного искусственного интеллекта (Human-Centered AI), в рамках которого возможности специалиста и интеллектуальных средств используются совместно при исследовании пространства возможных проектных решений.

Список литературы

1. ISO/IEC/IEEE 42010:2022. Software, systems and enterprise – Architecture description.

2. Bass L., Clements P., Kazman R. Software Architecture in Practice. 4th ed. Boston: Addison-Wesley Professional, 2021.

3. Gostev V. The Program System for Design Optimization of Data Transmission Networks // Mesh Methods for Boundary-Value Problems and Applications: 13th International Conference, Kazan, Russia, 2020. Lecture Notes in Computational Science and Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 141. – P. 173–183. – DOI: 10.1007/978-3-030-87809-2_13.

4. Гостев, В. М. Сервер удаленного моделирования платформы ALINA GPSS / В. М. Гостев, М. В. Федотов, Т. В. Девятков // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2023): труды 11-й Всерос. науч.-практ. конф. – Казань : Изд-во Академии наук Республики Татарстан, 2023. – С. 240–245.

5. Гостев, В. М. Программный комплекс распределенного имитационного моделирования сетей передачи данных / В. М. Гостев // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2025): труды 12-й Всерос. науч.-практ. конф. – С-Пб.: АО «ЦТСС», 2025. – С. 659–665.

6. Dellermann D., Ebel P., Söllner M. et al. Hybrid Intelligence // Business & Information Systems Engineering. – 2019. – Vol. 61. – P. 637–643. DOI: 10.1007/s12599-019-00595-2.

7. Shneiderman B. Human-Centered AI. – Oxford: Oxford University Press, 2022. – 390 p.

8. Wang L., Ma C., Feng X., et al. A Survey on Large Language Model based Autonomous Agents // Frontiers of Computer Science. – 2024. – Vol. 18. Article 186345. DOI: 10.1007/s11704-024-40231-1.

9. Khanolkar P. M., Vrolijk A., Olechowski A. Mapping artificial intelligence-based methods to engineering design stages: a focused literature review // Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. – 2023. – Vol. 37. – Art. e25. – DOI: 10.1017/S0890060423000203.

УДК 004.92

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ НАЛОЖЕНИЯ ТЕКСТУР В КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Гумеров Т.М., студент;
Бикмуллина И.И., к.т.н., научный преподаватель, доцент кафедры АСОИУ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0006-6116-561X

COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSICAL AND NEURAL NETWORK METHODS OF TEXTURE MAPPING IN COMPUTER GRAPHICS

Gumerov T.M., student;
Bikmullina I.I., Candidate of Technical Sciences, research lecturer, associate professor, Department of Automated System Analysis and Control, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0006-6116-561X

Аннотация

Настоящая работа посвящена исследованию процесса нанесения текстур на трехмерные модели в сфере компьютерной графики. Обосновывается целесообразность синергетического применения традиционных проекционных техник и передовых нейросетевых алгоритмов для предварительной обработки изображений. Основная цель исследования заключается в сравнительном анализе различных методов текстурирования, включая планарное, цилиндрическое, сферическое, кубическое, трипланарное наложение, UV-маппинг, а также адаптивный нейросетевой подход. Сравнение проводится по таким ключевым критериям, как степень искажений, наличие видимых швов, сложность настройки и общее качество визуализации.

Методология исследования базируется на детальном анализе текстурных координат, выполнении комплекса преобразований (масштабирование, сдвиг, вращение, нелинейные искажения) и применении компактной сверточной нейронной сети с архитектурой, схожей с U-Net, для оптимизации входных текстур. В качестве метрик оценки используются как визуальное сопоставление результатов на трехмерных моделях, так и количественные показатели: устойчивость материала к повторению, сохранение исходной структуры изображения, а также метрики пикового отношения сигнал/шум (PSNR) и структурного индекса сходства (SSIM).

Результаты демонстрируют, что проекционные методы сохраняют свою эффективность при условии точного соответствия геометрии объекта выбранной системе параметризации. Тем не менее, каждый из них обладает присущими ограничениями: планарное наложение чувствительно к кривизне поверхности, цилиндрическое и сферическое методы склонны к образованию швов, кубическое наложение может приводить к разрывам между проекциями, а UV-маппинг требует значительных ручных усилий для создания развертки. Трипланарное наложение выделяется как наиболее робастный среди автоматических классических методов благодаря механизму смешивания проекций на основе нормали поверхности.

Нейросетевая обработка не претендует на замену геометрической параметризации, но существенно повышает качество исходного изображения, снижает уровень шумов и устраняет локальные дефекты, улучшает однородность материала и упрощает последующее наложение текстуры. Полученные выводы подтверждают, что наиболее рациональной стратегией является построение комбинированного пайплайна: выбор метода наложения, соответствующего форме объекта, в сочетании с предварительным улучшением текстуры с помощью нейросете-

вой модели. Практическая ценность работы заключается в разработке алгоритма, способствующего выбору оптимального подхода для учебных и прикладных задач, где требуется быстрое получение устойчивых материалов без избыточной ручной настройки. Предложенная схема может быть успешно применена при создании учебных ассетов, прототипировании сцен и оптимизации параметров визуализации.

Ключевые слова: компьютерная графика, наложение текстур, UV-маппинг, трипланарное наложение, сверточная нейронная сеть, U-Net, PSNR, SSIM, процедурные текстуры, визуализация

Abstract

The article addresses the problem of texture mapping on three-dimensional objects in computer graphics and explains why classical projection techniques should be combined with neural network-based image preprocessing. The purpose of the study is to compare planar, cylindrical, spherical, cubic, triplanar mapping, UV mapping, and an adaptive neural approach according to distortion level, seam visibility, configuration effort, and rendering quality. The methodology is based on the analysis of texture coordinates, a set of transformations including scaling, translation, rotation, and nonlinear coordinate distortion, and the use of a compact convolutional neural network with U-Net-like architectural features for input texture enhancement. The evaluation procedure includes visual inspection of mapped results on a three-dimensional model, analysis of tiling stability, preservation of image structure, and the peak signal-to-noise ratio and structural similarity index measure metrics. The study shows that projection-based methods remain effective when the geometry of an object corresponds to the selected parameterization, but each method has inherent constraints: planar mapping is sensitive to curvature, cylindrical and spherical mapping produce seams, cubic mapping may introduce discontinuities between projections, and UV mapping requires manual unwrapping. Triplanar mapping demonstrates the most stable behavior among classical automatic methods because it blends several projections according to surface normals. Neural preprocessing does not replace geometric parameterization, but it improves the source image, reduces noise and local defects, increases material uniformity, and simplifies further mapping. The results confirm that the most rational workflow is a combined pipeline: selecting a mapping technique according to object shape and applying a neural model to enhance texture quality before final placement on a three-dimensional surface.

Keywords: computer graphics, texture mapping, UV mapping, triplanar mapping, convolutional neural network, U-Net, PSNR, SSIM, procedural textures, visualization

1. Введение

Процесс наложения текстур является одним из фундаментальных этапов в создании реалистичного визуального представления трехмерных объектов. Если геометрическая модель определяет форму, то именно текстура наделяет поверхность характеристиками материала, такими как цвет, микрорельеф, степень шероховатости, свойства отражения, признаки износа и неоднородности. В контексте прикладных задач компьютерной графики качество нанесенной текстуры напрямую влияет не только на эстетическую привлекательность изображения, но и на степень достоверности воспринимаемой цифровой сцены. Следовательно, выбор оптимального метода параметризации поверхности остается критически важной технической задачей, даже при наличии обширных библиотек материалов и продвинутых инструментов автоматического рендеринга.

Традиционные подходы к текстурированию основаны на установлении соответствия между точками поверхности трехмерного объекта и координатами в двумерном изображении. На практике широко применяются такие методы, как UV-маппинг, планарное, цилиндрическое, сферическое, кубическое и трипланарное наложение. Эти техники хорошо изучены в области компьютерной графики, однако их эффективность и качество результата напрямую

зависят от формы моделируемого объекта, расположения возникающих швов, плотности пикселей текстуры и ее специфических характеристик [1, 2]. Например, текстура с выраженным направленным рисунком может корректно отображаться на плоской поверхности, но при этом создавать заметные искажения и разрывы на криволинейных моделях. Для создания правдоподобных природных материалов часто требуется использование процедурных шумов [3], а для достижения физически корректной визуализации необходимо согласование цветовых и рельефных карт в рамках модели материала [4].

Эволюция нейросетевых алгоритмов кардинально трансформировала роль исходного графического материала в конвейере наложения текстур. Сверточные нейронные сети (CNN) открывают возможности для предварительной обработки изображений: они способны эффективно снижать уровень шума, восстанавливать утраченные или поврежденные участки, акцентировать локальные детали и придавать текстуре более ровный, однородный вид перед ее интеграцией в 3D-модель. Важно отметить, что применение нейросетей не устраняет фундаментальных ограничений, связанных с геометрией развертки. Если выбранная параметризация не соответствует реальной форме объекта, даже наилучшим образом подготовленная текстура может оказаться искаженной – растянутой или разорванной. Следовательно, наиболее перспективным направлением является не противопоставление классических и нейросетевых методов, а их гармоничное совместное применение.

Основная задача данной статьи заключается в проведении сравнительного анализа традиционных и нейросетевых методик наложения текстур. Мы стремимся выявить условия, при которых каждый из подходов демонстрирует максимальную устойчивость и обеспечивает наиболее качественный визуальный результат. Для достижения этой цели мы исследуем ключевые типы параметризации, детально описываем архитектуру компактной модели для обработки текстур, анализируем экспериментальные преобразования координат и формулируем практические рекомендации по оптимальному выбору метода.

2. Методология исследования

Исследовательская работа основана на сравнительном анализе применения идентичной текстурной информации к объектам с различной геометрией. В качестве базовых преобразований были задействованы операции масштабирования координат, сдвига, вращения, зеркального отражения, циклического повторения изображения и нелинейного искажения. Эти манипуляции позволяют оценить степень устойчивости каждого метода к изменениям плотности текстуры, появлению видимых стыков, нарушению бесшовности и локальным деформациям. Особое внимание уделялось не только результатам на плоском изображении, но и их визуализации на трехмерной поверхности, поскольку многие дефекты становятся очевидными только после этапа рендеринга.

В рамках исследования были рассмотрены семь основных подходов: планарное, цилиндрическое, сферическое, кубическое и трипланарное наложение, а также UV-маппинг и нейросетевое улучшение текстуры. Планарный метод, использующий две пространственные координаты в качестве текстурных, является наиболее простым для работы с плоскими поверхностями. Цилиндрический и сферический подходы преобразуют положение точки в угловые координаты, что делает их оптимальными для объектов с выраженной осевой или шарообразной симметрией. Кубическое наложение выбирает проекцию на основе доминирующей оси нормали, тогда как трипланарное метод комбинирует несколько проекций, минимизируя резкие переходы. UV-маппинг рассматривается как наиболее гибкий и контролируемый метод, базирующийся на ручной или автоматизированной развертке поверхности.

Нейросетевая составляющая исследования фокусируется на предварительной обработке изображений. Модель принимает на вход квадратную текстуру, нормализованную по значениям пикселей, и генерирует выходное изображение того же размера. В качестве архитектурной основы была выбрана сверточная нейронная сеть (CNN), поскольку такие модели превосходно справляются с извлечением локальных признаков изображения: границ, по-

вторяющихся паттернов, шумовых структур и направлений волокон. Архитектурная логика модели близка к U-Net, сочетая последовательное извлечение признаков с восстановлением изображения на исходном разрешении [5].

Оценка качества полученных результатов проводилась по комплексу критериев. Визуальная оценка фиксировала наличие стыков, растяжений, потерю детализации и неестественное сглаживание. Для количественного анализа применялись метрики PSNR (peak signal-to-noise ratio) и SSIM (structural similarity index measure). Первая метрика отражает пиксельное отличие результата от эталонного изображения, вторая – степень сохранения структурной целостности. Дополнительно учитывались вычислительная сложность каждого метода и уровень ручной настройки, требуемый для достижения стабильного и предсказуемого результата.

3. Классические методы наложения текстур

Планарное проецирование представляет собой наиболее элементарный способ параметризации. Текстура накладывается на объект путем его проецирования с определенной стороны, а для извлечения информации из изображения используются две координаты поверхности. Этот метод демонстрирует высокую эффективность для таких поверхностей, как стены, полы, фасады зданий, дорожное покрытие и прочие объекты, которые можно условно считать плоскими. Его ключевые преимущества заключаются в минимальных вычислительных затратах и предсказуемости процесса настройки. Основной недостаток проявляется при работе с наклонными и изогнутыми участками: изображение подвергается искажению (растяжению), и его масштаб перестает соответствовать реальным геометрическим пропорциям.

Цилиндрическое наложение трактует поверхность как боковую часть цилиндра. Горизонтальная координата текстуры определяется углом вращения вокруг центральной оси, тогда как вертикальная координата связана с высотой точки. Такой подход идеально подходит для объектов вытянутой формы, таких как бутылки, трубы, колонны, стволы деревьев и аналогичные элементы. Метод обеспечивает равномерное распределение изображения по окружности, однако неизбежно создает шов в месте перехода текстурной координаты от максимального значения к минимальному. Если исходная текстура не является бесшовной, этот переход становится отчетливо видимым.

Сферическое наложение ориентировано на объекты, приближенные по форме к сфере: планеты, мячи, глазные яблоки, купола и декоративные сферы. Данный метод преобразует направление от центра объекта к точке на его поверхности в координаты, аналогичные долготе и широте. В центральной части сферы результат, как правило, выглядит естественно. Однако в приполюсных областях наблюдается сжатие изображения. Это ограничение является следствием самой природы параметризации и не может быть устранено простой корректировкой масштаба.

Кубическое наложение, также известное как box mapping, задействует несколько планарных проекций. Для каждой точки поверхности выбирается та проекция, направление которой наиболее близко к направлению нормали данной точки. Благодаря этому метод демонстрирует лучшую производительность на объектах с выраженными гранями или сложными поверхностными нормалями: камнях, зданиях, предметах мебели и технических деталях. Недостатком являются потенциальные разрывы на границах между проекциями. Чем более контрастны рисунки в соседних участках изображения, тем более заметным становится переход.

Трипланарное наложение является развитием идеи кубического метода. Оно одновременно извлекает информацию о цвете из трех проекций и интерполирует их с весами, зависящими от компонент нормали поверхности. Благодаря интерполяции устраняются резкие швы, и текстура плавно перетекает между различными сторонами объекта. Этот метод особенно ценен при работе с ландшафтами, скалами, органическими моделями и процедурными материалами. Его ограничениями являются повышенная вычислительная нагрузка и возможное размытие деталей в зонах интенсивной интерполяции.

UV-маппинг предоставляет максимальный уровень контроля, поскольку каждому участку поверхности заранее сопоставляется определенная область на двумерной плоскости изображения. Этот метод незаменим при создании персонажей, техники, объектов с логотипами, надписями и уникальными деталями. В отличие от автоматических проекций, UV-развертка позволяет точно управлять расположением швов и плотностью пикселей. Однако качество конечного результата напрямую зависит от трудоемкости подготовительного этапа: необходимо тщательно выбирать разрезы, раскладывать UV-острова, устранять пересечения и выравнивать плотность текселей (texel density). Исторически развитие методов текстурирования было тесно связано с поиском оптимального баланса между качеством параметризации, потреблением памяти и скоростью выборки текстурных данных [2].

4. Нейросетевой подход к обработке текстур

В рамках данного исследования нейросетевой подход рассматривается не как самостоятельная альтернатива UV-развертке, а как вспомогательный этап подготовки изображения перед его наложением. Его основная функция заключается в повышении качества исходной текстуры: снижении уровня шумов, устранении артефактов сжатия, восстановлении поврежденных участков, выравнивании освещения и сохранении характерной структуры материала. Такой этап приобретает особую важность при использовании текстур, полученных путем фотосъемки, сканирования, из открытых библиотек или созданных вручную, где часто встречаются локальные дефекты.

Сверточная модель анализирует текстуру как совокупность локальных и глобальных признаков. Мелкие фильтры реагируют на границы, пятна, направления волокон и повторяющиеся элементы, а более глубокие слои учитывают общую композицию материала. Подобная логика согласуется с развитием методов обработки изображений, где сверточные сети используются для восстановления, повышения разрешения и сохранения перцептивного качества [6]. В задачах текстурирования это позволяет не просто размыть дефектные области, а сохранить ощущение дерева, камня, ткани или металла.

Для обучения такой модели целесообразно использовать комбинированную функцию потерь. Пиксельная составляющая отвечает за близость результата к целевому изображению, а структурная составляющая поддерживает сохранение локального рисунка. В экспериментальном пайплайне дополнительно применяются аугментации: повороты, шум, изменение масштаба и локальные маски. Они повышают устойчивость модели и позволяют оценить, как она реагирует на различные типы входных искажений.

Отдельного внимания требуют генеративные методы. Современные модели способны создавать текстуры по описанию, переносить стиль, достраивать недостающие области и формировать варианты материалов. Генеративно-состязательные сети расширили возможности синтеза реалистичных изображений [7], а латентные диффузионные модели сделали управляемую генерацию более доступной для прикладных задач [8]. Тем не менее для исследуемого случая более рациональна компактная модель улучшения существующей текстуры, поскольку она проще воспроизводится, требует меньше ресурсов и легче встраивается в учебный или производственный процесс.

Практический эффект нейросетевой обработки проявляется после нанесения изображения на трехмерный объект. Если исходная текстура содержит шум, резкие пятна или неравномерное освещение, эти дефекты усиливаются при повторении материала и становятся заметными на больших поверхностях. Предварительное улучшение уменьшает такие артефакты, но требует осторожности: чрезмерное сглаживание может уничтожить естественные детали. Поэтому результат следует проверять не только по PSNR и SSIM, но и визуально в целевой сцене.

5. Результаты и обсуждение

Проведенное сравнение показывает, что универсального метода наложения текстур не существует. Выбор способа зависит от геометрии объекта, требуемой точности размещения

рисунка, допустимой вычислительной стоимости и характера материала. В табл. 1 обобщены основные результаты сравнения. Важно отметить, что оценка дана для типового случая, когда исходная текстура имеет достаточное разрешение и подготовлена к повторению.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов наложения текстур

Метод	Оптимальная геометрия	Основное ограничение	Практическое применение
Планарное	Плоские и почти плоские поверхности	Сильные растяжения на кривизне	Стены, полы, фасады, панели
Цилиндрическое	Вытянутые объекты с осью симметрии	Вертикальный шов и зависимость от бесшовности	Трубы, колонны, бутылки
Сферическое	Шарообразные объекты	Сжатие в полюсах и шов по долготе	Планеты, мячи, купола
Кубическое	Граненые и технические объекты	Разрывы между проекциями	Здания, камни, мебель, детали
Трипланарное	Сложные и органические формы	Большая вычислительная стоимость, возможное размытие	Ландшафты, скалы, процедурные материалы
UV-маппинг	Любые объекты при наличии развертки	Трудоемкая подготовка UV-островов	Персонажи, техника, модели с уникальными деталями
Нейросетевая обработка	Любые текстуры перед нанесением	Не устраняет геометрические ограничения параметризации	Улучшение качества, удаление дефектов, подготовка материала

Из табл. 1 следует, что простота метода не всегда коррелирует с качеством визуализации. Планарное наложение реализуется быстрее остальных, но применимо в ограниченном классе задач. Цилиндрический и сферический методы хорошо согласуются с соответствующими формами, однако наследуют неизбежные швы и локальные искажения. Кубический способ снижает растяжения на сложных объектах, но переносит проблему в область границ между проекциями. Трипланарное наложение наиболее устойчиво среди автоматических методов, потому что не выбирает одну проекцию жестко, а смешивает несколько вариантов.

UV-маппинг сохраняет статус основного решения для финальных моделей, где требуется точное размещение элементов изображения. Его преимущество проявляется при работе с персонажами, техникой и объектами, имеющими надписи, логотипы или уникальные участки поверхности. Однако в задачах быстрого прототипирования и процедурной генерации ручная развертка может быть избыточной. В таких случаях трипланарное или кубическое наложение дают приемлемый результат быстрее, особенно если текстура не содержит строгого направленного рисунка.

Нейросетевая обработка занимает промежуточное положение между подготовкой изображения и собственно параметризацией поверхности. Она повышает качество материала, но не определяет координаты наложения вместо классического метода. В результате наиболее эффективным оказывается комбинированный сценарий: сначала выполняется улучшение текстуры, затем выбирается метод проекции по форме объекта, после чего результат проверяется на модели. Такой подход особенно полезен для учебных экспериментов, поскольку наглядно показывает связь между изображением, координатами и геометрией.

Серия преобразований текстурных координат подтверждает чувствительность методов к масштабу и сдвигу. Увеличение частоты повторения может улучшить детализацию на большой поверхности, но одновременно усилить заметность тайлинга. Поворот и отражение помогают согласовать направление рисунка, однако при ошибочной настройке приводят к конфликту между соседними участками. Нелинейное искажение полезно для имитации случайности, но при чрезмерной амплитуде нарушает читаемость структуры материала. Поэтому параметры должны подбираться не формально, а с учетом целевой модели и дистанции наблюдения.

6. Выводы

Выполненный анализ показал, что качество наложения текстуры определяется соответствием метода параметризации форме объекта. Планарное наложение рационально использовать для плоскостей, цилиндрическое – для вытянутых объектов, сферическое – для шарообразных моделей, кубическое – для объектов с выраженными гранями, а трипланарное – для сложной органической геометрии без готовой развертки. UV-маппинг остается наиболее точным методом, но требует значительной ручной подготовки.

Нейросетевой подход целесообразно рассматривать как этап предварительной обработки. Он позволяет уменьшить шум, сгладить локальные дефекты, восстановить фрагменты изображения и повысить однородность материала. При этом геометрическая проблема наложения сохраняется, поэтому улучшенная текстура должна наноситься одним из классических способов. Наилучший результат достигается в комбинированном пайплайне, где нейросеть повышает качество исходного изображения, а метод параметризации выбирается по форме модели и требованиям визуального контроля.

Практическая значимость исследования заключается в простой схеме выбора метода. Для быстрых задач подходят проекционные способы, для сложных поверхностей без развертки – трипланарное наложение, для финальных объектов с уникальными деталями – UV-маппинг, для повышения качества входного материала – нейросетевая обработка.

Список литературы

1. Heckbert P. S. Survey of texture mapping // IEEE Computer Graphics and Applications. – 1986. – Vol. 6, № 11. – P. 56-67.

2. Blinn J. F. Simulation of wrinkled surfaces // Proceedings of SIGGRAPH. – 1978. – Vol. 12, № 3. – P. 286-292.

3. Perlin K. An image synthesizer // Proceedings of SIGGRAPH. 1985. Vol. 19, no. 3. P. 287-296.

4. Pharr M., Jakob W., Humphreys G. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. 4th ed. Cambridge : MIT Press, 2023. – 1280 p.

5. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. Cham : Springer, 2015. – P. 234-241.

6. Johnson J., Alahi A., Fei-Fei L. Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution // Computer Vision – ECCV 2016. Cham : Springer, 2016. – P. 694-711.

7. Karras T., Laine S., Aittala M., Hellsten J., Lehtinen J., Aila T. Analyzing and improving the image quality of StyleGAN // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2020. – P. 8110-8119.

8. Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B. High-resolution image synthesis with latent diffusion models // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2022. – P. 10684-10695.

УДК 004.75:519.2

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ ЦЕЛЕВОГО ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА ВЕБ-СЕРВИСА ПРИ СМЕНЕ НАГРУЗКИ

Давлатов А.Р., студент факультета информационных технологий;
ORCID: 0009-0002-0067-5078;
E-mail: a@davlatov.dev;
Черняева Т.Н., к.ф.-м.н., научный руководитель, доцент кафедры «Теория вероятностей и прикладная математика» Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ), г. Москва, Россия;
E-mail: chetn2021@yandex.ru

PROBABILISTIC FORECASTING OF WEB-SERVICE SLO VIOLATIONS UNDER WORKLOAD SHIFT

Davlatov A.R., Undergraduate Student, Faculty of Information Technology;
ORCID: 0009-0002-0067-5078;
E-mail: a@davlatov.dev;
Chernyaeva T.N., Scientific Supervisor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Probability Theory and Applied Mathematics, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI), Moscow, Russia;
E-mail: chetn2021@yandex.ru

Аннотация

Хвостовая задержка веб-сервиса зависит от интенсивности и структуры потока запросов, а при смене режима нагрузки прогнозная верхняя граница 99-го процентиля (p99), откалиброванная на прежнем режиме, может потерять заданное покрытие. Цель исследования – сравнить некалиброванную квантильную регрессию, статическую split-conformal поправку и скользящую конформную калибровку по покрытию верхней границы p99 и ошибкам предупреждения о превышении SLO 100 мс. На выделенном Ubuntu 26.04.1-сервере генератор и сервис запускались раздельными процессами через loopback; выполнено 40 запусков: 12 обучающих, 8 калибровочных и 20 тестовых длительностью 60 с, а телеметрия включила 838 714 запросов и 2958 пригодных окон по 0,5 с. Базовым регрессором служил градиентный бустинг с квантильной функцией потерь; неопределённость оценивалась кластерным bootstrap по прогонам, а схемы сопоставлялись парным критерием Уилкоксона с поправкой Холма; в расчёт включены все валидные окна основного опыта, а внешний WAN-пилот исключён заранее, поскольку его транспортная задержка превышала установленный SLO. При цели 90% среднее покрытие по прогонам составило 0,089 для исходной модели, 0,103 для статической и 0,711 для скользящей калибровки; 95%-е bootstrap-интервалы равны [0,041; 0,146], [0,047; 0,169] и [0,672; 0,751]. При цели 95% соответствующие покрытия равны 0,101, 0,106 и 0,827 [0,790; 0,861]. Скользящая схема уменьшила среднюю долю пропусков относительно статической с 1,000 до 0,054 при 90% и до 0,022 при 95%, однако увеличила ложные тревоги до 0,587 и 0,644; после поправки Холма все различия значимы ($p \le 0{,}000522$). Ни одна схема не достигла номинального покрытия при столь сильном сдвиге: обратная связь по остаткам улучшает реакцию после появления новых наблюдений, но не предсказывает первый внешний всплеск, поэтому адаптивная граница пригодна как индикатор риска и основа для решений оператора, а не как самостоятельный механизм предотвращения инцидента.

Ключевые слова: веб-сервис, хвостовая задержка, p99, SLO, квантильная регрессия, конформное прогнозирование, сдвиг распределения, AIOps, нагрузочное тестирование

Abstract

Web-service tail latency depends on the incoming-request stream, and after a workload change a predictive upper bound for the 99th percentile (p99) calibrated under the previous regime may lose target coverage. This study compares uncalibrated quantile regression, a static split-conformal correction, and rolling conformal calibration by upper-bound coverage and warning errors for a prespecified 100 ms service-level objective (SLO). On a dedicated Ubuntu 26.04.1 server, the load generator and service ran as separate processes over loopback; 40 runs were executed: 12 training, 8 calibration, and 20 60 s test runs, yielding 838,714 requests and 2,958 valid 0.5 s windows. A gradient-boosting quantile regressor was evaluated with run-cluster bootstrap intervals and paired Wilcoxon tests with Holm correction; all valid windows from the main experiment were retained, whereas a WAN pilot was excluded before analysis because its transport latency exceeded the stated SLO. At 90%, mean run-level coverage was 0.089 for the raw model, 0.103 for static calibration, and 0.711 for rolling calibration, with 95% intervals of [0.041, 0.146], [0.047, 0.169], and [0.672, 0.751]. At 95%, coverage was 0.101, 0.106, and 0.827 [0.790, 0.861]. Rolling calibration reduced the mean miss rate from 1.000 to 0.054 at 90% and 0.022 at 95%, but increased false alarms to 0.587 and 0.644; all adjusted comparisons were significant ($p \leq 0.000522$). Under this severe shift, no method attained nominal coverage: residual feedback improves response only after shifted observations arrive and cannot anticipate the first external spike; thus, the adaptive bound is a risk indicator and an operator-support input, not a stand-alone incident-prevention mechanism.

Keywords: web service; tail latency; p99; service-level objective; quantile regression; conformal prediction; distribution shift; AIOps; load testing

1. Введение

Пользователь веб-сервиса замечает не среднюю, а редкую длинную задержку: она возникает при заполнении очереди, конкуренции за процессор или медленном маршруте обработки [1]. Поэтому в эксплуатации обычно задают целевой уровень обслуживания – SLO (service-level objective) – и контролируют, например, 99-й процентиль времени ответа p99 [2]. Обычный мониторинг фиксирует факт нарушения уже после него. Для выбора момента масштабирования или ограничения входного потока нужна оценка следующего временного окна.

Телеметрия сервиса используется в моделях производительности и управлении ресурсами микросервисов [3]. Однако малая средняя ошибка регрессора ещё не означает, что его верхняя граница действительно включает будущий p99 при изменении нагрузки. Квантильная регрессия даёт условную оценку квантили, а конформная корректировка строится по уже наблюдённым ошибкам и не задаёт форму их распределения [4, 5]. Классическая гарантия такой корректировки опирается на сопоставимость калибровочных и будущих наблюдений. В потоковой телеметрии это допущение нарушается и временной зависимостью, и сменой режима. Последовательные методы учитывают нестационарность [6–9], но не делают первую точку нового режима предсказуемой [9].

В работе проверяется, может ли верхняя граница p99 служить ранним сигналом риска нарушения SLO, если тестовые сценарии специально отличаются от обучающих. Помимо ошибки прогноза анализируются покрытие, пропуски SLO и ложные тревоги. Обучение, калибровка и тестирование разделены целыми запусками, чтобы соседние временные окна не попадали в разные выборки. Сравниваются исходная квантильная модель, статическая split-conformal поправка и скользящая поправка, обновляемая по последним остаткам.

Поставлены четыре вопроса исследования: ухудшается ли покрытие исходной границы после смены режима (RQ1); исправляет ли ситуацию статическая поправка (RQ2); насколько скользящая калибровка приближает покрытие к целевому уровню (RQ3); какова её цена по пропускам, ложным тревогам и величине резерва (RQ4). Практическим результатом является воспроизводимый протокол проверки переносимости калибровки, в котором единицей анализа выбран отдельный тестовый запуск.

2. Материалы и методы

2.1. Стенд и сбор телеметрии

Основной стенд выполнялся на выделенной виртуальной машине Ubuntu 26.04.1 с 8 vCPU, 15 GiB оперативной памяти и 155 GiB диска. HTTP-сервис и генератор нагрузки были раздельными процессами Python 3.14 с aiohttp, связывавшимися через loopback-интерфейс. Перед основным опытом выполнен исключённый WAN-пилот между рабочей станцией и сервером: среднее время health-запроса составило 209 мс, поэтому внешний маршрут сделал бы заранее заданный SLO 100 мс невалидным. Разделение процессов исключает конкуренцию внутри одного event loop, но не устраняет совместное использование CPU и памяти виртуальной машины.

Сервис одновременно обрабатывал до шести запросов. Время обработки моделировалось логнормальным законом (масштаб 8 мс, разброс 0,35); у 25% запросов выбирался маршрут в 1,7 раза медленнее. Открытый поток Пуассона создавал очередь при насыщении, а клиент прекращал ожидание через 4 с. Для каждого запроса сохранялись время отправки, результат, полная задержка, ожидание, обслуживание, активность, маршрут и интенсивность.

Запросные логи объединялись в окна по 0,5 с. Целевой переменной был p99 следующего окна y(t+1); окно считалось нарушившим SLO, если y(t+1)>100 мс. Порог и ширина окна не менялись после начала эксперимента. В набор признаков X(t) вошли фактическая и заданная интенсивность, p50, p95, p99, средняя задержка, доля ошибок, время ожидания, число активных запросов и лаги этих показателей. Данные из прогнозируемого окна в признаки не включались.

2.2. Экспериментальный дизайн

Выборки разделялись по запускам, а не по отдельным окнам. Тем самым зависимые соседние интервалы не перемешивались между обучением, калибровкой и тестом. В обучение вошли 12 запусков длительностью 20 с: с постоянной интенсивностью 140 и 300 запросов в секунду, а также с плавным ростом от 120 до 440 запросов в секунду. Калибровочный набор составили восемь двадцатисекундных запусков с волнообразной нагрузкой 260±120 запросов в секунду. Для теста подготовлены 20 запусков по 60 с: периодические траектории в диапазоне примерно 160–1050 запросов в секунду и ступенчатые траектории 180→1050→260 запросов в секунду. Ни одна из этих траекторий не использовалась при обучении модели.

Пробный WAN-запуск не вошёл ни в обучение, ни в калибровку, ни в расчёт итоговых показателей. До основного запуска были зафиксированы признаки, порог SLO, методы и метрики. После построения лагов осталось 2958 пригодных окон, полученных из 838 714 запросов: 450 обучающих, 303 калибровочных и 2205 тестовых. В тестовой части 1924 окна содержали нарушение SLO, а 281 окно соответствовало обычному режиму. Такое соотношение намеренно отражает сценарий перегрузки, а не обычный рабочий день сервиса.

2.3. Прогнозные методы

Базовой моделью был HistGradientBoostingRegressor с квантильной функцией потерь. Для выбранного уровня 1−α он возвращал верхнюю оценку $\hat{q}(1-\alpha|X(t))$. В статической конформной схеме к ней добавляли эмпирический квантиль остатков $s(i)=y(i)-\hat{q}(1-\alpha|X(i))$, рассчитанных по всем восьми калибровочным запускам. Поправка задавалась следующим выражением:

$$U_static(t)=\hat{q}(1-\alpha|X(t))+Q(1-\alpha)\{s(1),\ldots,s(n)\}.$$

В скользящей схеме начальную очередь калибровочных остатков дополняли значениями, появившимися внутри текущего тестового запуска. Для расчёта использовали последние 60 остатков; в начале нового запуска очередь вновь заполнялась калибровочными наблюдениями. Значение для t+1 вычислялось до включения y(t+1) в очередь, поэтому будущий ответ не мог попасть в прогноз. Скользящая поправка имела вид:

$$U_roll(t)=\hat{q}(1-\alpha|X(t))+Q(1-\alpha)\{s(t-59),\ldots,s(t)\}.$$

Для ориентира также считался наивный прогноз, равный последнему наблюдённому p99. Гиперпараметры бустинга и уровни номинального покрытия 90% и 95% были выбраны до теста; тестовые запуски не использовались для настройки. Предупреждение появлялось, когда верхняя граница превышала 100 мс. Пропуском считался случай $P(U \le 100 | y > 100)$, ложной тревогой – $P(U > 100 | y \le 100)$. Кроме того, измерялись средняя верхняя граница, медианный запас $U-y$ и квантильная функция потерь pinball loss.

2.4. Статистический анализ

Статистической единицей был тестовый запуск, а не отдельное окно: окна одного запуска связаны общей траекторией нагрузки. Для покрытия и ложных тревог рассчитывали средние по 20 запускам и 95%-е доверительные интервалы (ДИ) кластерного percentile bootstrap с ресэмплингом запусков. Пропуски определялись во всех 20 запусках, а ложные тревоги – в 13 запусках, где имелись окна без нарушения SLO. Статическую и скользящую схемы сравнивали двусторонним критерием Уилкоксона; для шести сравнений применяли поправку Холма. Дополнительно приводились показатели, объединённые по 2205 тестовым окнам: они нужны для оценки величины верхней границы, но не заменяют анализ по запускам.

3. Результаты

Тестовые траектории дали намного более тяжёлый хвост задержки, чем режимы обучения и калибровки: фактический p99 превысил SLO в 1924 из 2205 окон. При насыщении часть клиентов ждала ответа до установленного тайм-аута в 4 с. Эти запросы остались в телеметрии, поскольку являются следствием моделируемой нагрузки, а не техническим мусором. Как показывает рис. 1, первое внешнее возмущение наступает раньше, чем в истории возникают сопоставимые остатки. По этой причине ни одна из рассматриваемых схем не может надёжно предупредить о самом первом скачке.



Рис. 1. Пример прогноза при ранее не наблюдавшемся скачке интенсивности. Верхние границы показаны для номинального покрытия 90%.

Источник: составлено авторами.

Итоги запусков приведены в табл. 1. При цели 90% среднее покрытие исходной и статической схем составило лишь 0,089 и 0,103, а скользящая схема достигла 0,711 [0,672; 0,751]. При цели 95% соответствующие значения равны 0,101, 0,106 и 0,827 [0,790; 0,861]. Следовательно, адаптация заметно сокращает дефицит покрытия, но при столь сильном сдвиге не восстанавливает номинальную гарантию.

Таблица 1

Сравнение схем по результатам независимых тестовых запусков

1–α	Метод	Покрытие, 95% ДИ	Пропуски SLO, 95% ДИ	Ложные тревоги, 95% ДИ
90%	Квантильная регрессия	0,089 [0,041; 0,146]	1,000 [1,000; 1,000]	0,000 [0,000; 0,000]
90%	Статическая калибровка	0,103 [0,047; 0,169]	1,000 [1,000; 1,000]	0,000 [0,000; 0,000]
90%	Скользящая калибровка	0,711 [0,672; 0,751]	0,054 [0,049; 0,061]	0,587 [0,384; 0,793]
95%	Квантильная регрессия	0,101 [0,045; 0,166]	1,000 [1,000; 1,000]	0,000 [0,000; 0,000]
95%	Статическая калибровка	0,106 [0,048; 0,173]	1,000 [1,000; 1,000]	0,000 [0,000; 0,000]
95%	Скользящая калибровка	0,827 [0,790; 0,861]	0,022 [0,020; 0,024]	0,644 [0,430; 0,839]

Примечание: интервалы получены кластерным bootstrap по запускам; пропуски оценены в 20 запусках с нарушением SLO, ложные тревоги – в 13 запусках с окнами без нарушения.

Разброс покрытия между отдельными тестовыми запусками показан на рис. 2.

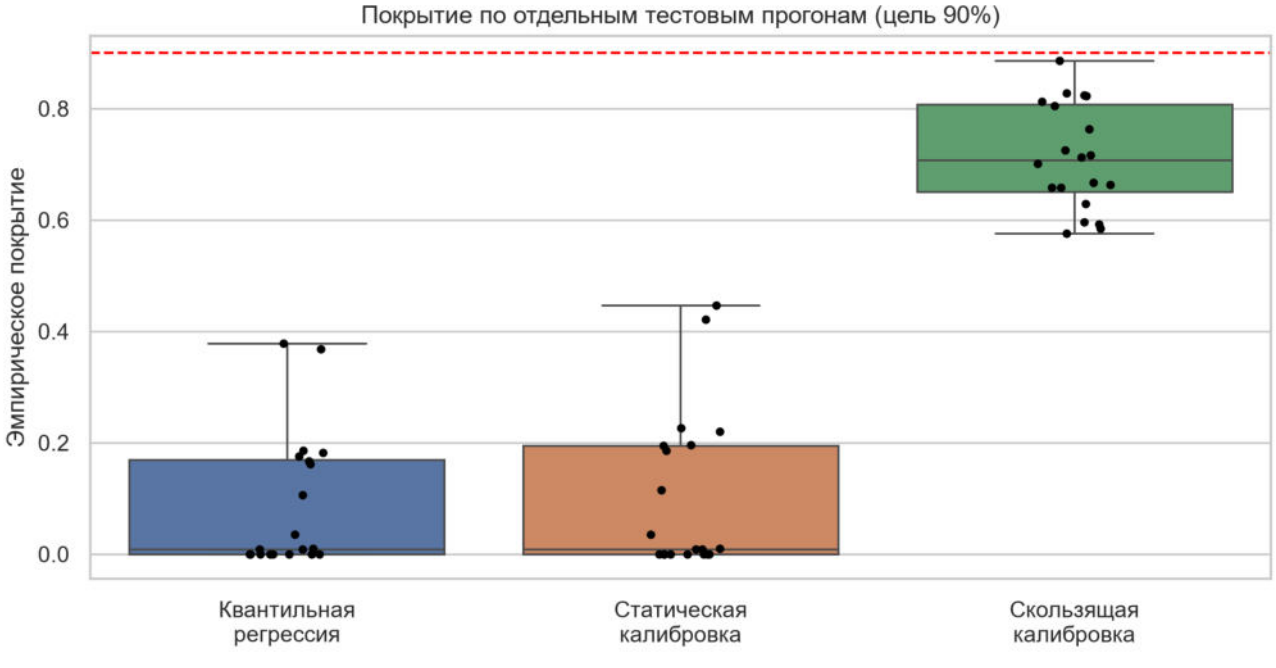


Рис. 2. Вариация фактического покрытия 90%-й границы между 20 тестовыми запусками; источник: расчёты авторов

На рис. 2 видно, что преимущество адаптивной схемы сохраняется между запусками, хотя покрытия отдельных прогонов остаются далеки от цели. По сравнению со статической схемой скользящая поправка уменьшила среднюю абсолютную ошибку покрытия на 0,608 при цели 90% и на 0,721 при цели 95%; скорректированные по Холму p равны 0,000011 в обоих случаях. Доля пропусков снизилась на 0,946 и 0,978 (p=0,000351), но ложные тревоги возросли на 0,587 и 0,644 (p=0,000488). Таким образом, улучшение покрытия и пропусков не является следствием единичного запуска, однако имеет ясную цену в виде избыточных сигналов.

Компромисс между покрытием и консервативностью виден по объединённым окнам. При цели 90% средний верхний предел равнялся 34,3 мс у базовой модели, 36,6 мс у статической схемы и 2816,2 мс у скользящей; соответствующие значения pinball loss – 1780,6, 1778,7 и 262,7 мс. На уровне 95% скользящий предел поднялся до 3161,0 мс, зато pinball loss снизился до 132,5 мс против 1878,6 и 1876,5 мс. После серии больших положительных остатков поправка спадала медленно, из-за чего сигнал о риске сохранялся и после восстановления задержки.

Диагностический анализ одного наиболее перегруженного запуска не был заранее предусмотренным исключением и не менял основных результатов. При его удалении покрытие скользящей схемы сохранилось на уровне 0,710 при цели 90% и 0,827 при цели 95%; все направления парных сравнений со статической схемой остались прежними. Поэтому результат не объясняется единичным аварийным запуском.

4. Обсуждение

Ответ на RQ1 однозначен: исходная квантильная модель потеряла покрытие после смены режима и при цели 90%, и при цели 95%. RQ2 также получает отрицательный ответ. Статическая поправка немного сдвинула верхнюю границу, но оказалась привязана к умеренной калибровочной нагрузке и не перенеслась на перегрузку. В этом нет противоречия с теорией split-conformal: её распределительно-свободная гарантия требует сопоставимости калибровочных и будущих наблюдений, а здесь это условие намеренно нарушено [4, 9].

По RQ3 скользящая схема оказалась лучшей из трёх, особенно при номинале 95%, но и она не достигла заданного покрытия. Ответ на RQ4 показывает причину. После нескольких больших ошибок граница резко растёт и почти не пропускает новые нарушения, однако продолжает выдавать сигнал, когда задержка уже снизилась. Для сервиса, где пропуск инцидента дороже лишнего масштабирования, такой режим может быть приемлем как предупреждение оператору. Для ресурсоограниченной системы потребуется заранее оценить стоимость ложной тревоги, ограничить размер поправки или добавить отдельный детектор смены режима.

Скользящая калибровка реагирует на уже проявившийся сдвиг, но не добавляет системе знания о будущем входном потоке. Если ступенчатый рост нагрузки не виден в текущих признаках и не передаётся извне, первая аномальная задержка остаётся непредсказуемой по внутренней телеметрии. Более ранний сигнал могли бы дать прогноз интенсивности, длина очереди на балансировщике или признаки работы автоскейлинга.

Результат нельзя без оговорок переносить на промышленный распределённый сервис. Генератор и приложение запущены отдельными процессами, но на одной виртуальной машине и через loopback, поэтому они всё ещё используют общие ресурсы. WAN-пилот исключён из-за транспортной задержки, превышающей SLO 100 мс; следовательно, сетевой путь между узлами работа не измеряет. Хотя обработано 2205 тестовых окон, независимых запусков только 20, а тест специально создаёт перегрузку и клиентские тайм-ауты. Стенд не моделирует базу данных, внешнюю сеть и паузы сборщика мусора. Длину окна в 60 остатков отдельно не оптимизировали, а один тип сдвига не доказывает устойчивость метода во всех средах. Следующий эксперимент должен включать независимые узлы, несколько сервисов и заранее заданную сетку нагрузочных режимов.

Воспроизводимость обеспечивают сохранённые конфигурации, значения инициализации, сырые запросы, агрегированные окна, прогнозы и код построения таблиц и рисунков. Тестовые запуски не использовались при настройке. До основного запуска зафиксированы SLO, набор признаков, правила калибровки, метрики и статистический критерий.

5. Заключение

В контролируемом опыте исходная квантильная модель и статическая калибровка не сохранили покрытие p99 после перехода от умеренной нагрузки к перегрузке. Скользящая по-

правка по 60 последним остаткам улучшила покрытие до 0,711 при цели 90% и до 0,827 при цели 95%. Одновременно средняя доля пропусков снизилась с 1,000 до 0,054 и 0,022. Улучшение сопровождалось ростом ложных тревог и не вернуло номинальное покрытие; после поправки на множественные сравнения оба эффекта статистически значимы. Первая задержка нового режима осталась вне возможностей прогноза.

Следовательно, верхнюю адаптивную границу разумно использовать в AIOps как индикатор риска продолжающегося нарушения, но не как единственный триггер автоскейлинга. Решение должно учитывать цену ложного сигнала, нагрузку, ресурсы и понятность правила срабатывания [10]. Дальнейшая работа связана с испытанием на независимых узлах, расширением набора режимов и сравнением со специализированными методами adaptive conformal inference.

Список литературы

1. Dean J., Barroso L. A. The Tail at Scale // Communications of the ACM. 2013. Vol. 56, № 2. P. 74–80. DOI: 10.1145/2408776.2408794.

2. Jones C., Wilkes J., Murphy N., Smith C. Service Level Objectives // Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems. O'Reilly Media, 2016. URL: https://sre.google/sre-book/service-level-objectives/ (дата обращения: 28.08.2026).

3. Zhang Y., Hua W., Zhou Z., Suh G. E., Delimitrou C. Sinan: ML-Based and QoS-Aware Resource Management for Cloud Microservices // Proceedings of ASPLOS. 2021. P. 167–181. DOI: 10.1145/3445814.3446693.

4. Lei J., G'Sell M., Rinaldo A., Tibshirani R. J., Wasserman L. Distribution-Free Predictive Inference for Regression // Journal of the American Statistical Association. 2018. Vol. 113, № 523. P. 1094–1111. DOI: 10.1080/01621459.2017.1307116.

5. Romano Y., Patterson E., Candès E. J. Conformalized Quantile Regression // Advances in Neural Information Processing Systems. 2019. Vol. 32. URL: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2019/hash/5103c3584b063c431bd1268e9b5e76fb-Abstract.html (дата обращения: 28.08.2026).

6. Gibbs I., Candès E. J. Conformal Inference for Online Prediction with Arbitrary Distribution Shifts // Journal of Machine Learning Research. 2024. Vol. 25, № 162. P. 1–36. URL: https://www.jmlr.org/papers/v25/22-1218.html (дата обращения: 29.08.2026).

7. Wu J., Hu D., Bao Y., Xia S.-T., Zou C. Error-quantified Conformal Inference for Time Series // International Conference on Learning Representations. 2025. URL: https://proceedings.iclr.cc/paper_files/paper/2025/hash/cab5ae2704d3e01f06a92512a5376b87-Abstract-Conference.html (дата обращения: 29.08.2026).

8. Xu C., Xie Y. Sequential Predictive Conformal Inference for Time Series // Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning. PMLR. 2023. Vol. 202. P. 38707–38727. URL: https://proceedings.mlr.press/v202/xu23r.html (дата обращения: 28.08.2026).

9. Barber R. F., Candès E. J., Ramdas A., Tibshirani R. J. Conformal Prediction Beyond Exchangeability // The Annals of Statistics. 2023. Vol. 51, № 2. P. 816–845. DOI: 10.1214/23-AOS2276.

10. Жарова, А. К. Достижение алгоритмической прозрачности и управление рисками информационной безопасности при принятии решений без вмешательства человека: правовые подходы / А. К. Жарова // Journal of Digital Technologies and Law. – 2023. – Т. 1, № 4. – С. 973–993. DOI: 10.21202/jdtl.2023.42. EDN: OPPOBG.

УДК 338

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЦЕНТРАХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО РОБОТИЗАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Демьянова О.В., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой экономики производства;
ORCID: 0000-0003-3438-1457;
Муллахметов Э.И., аспирант кафедры экономики производства Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-9972-4512;
E-mail: amirmullahmetov14@yandex.ru

PREDICTIVE ANALYSIS AND INTELLECTUAL SUPPORT FOR DECISION-MAKING IN COMPETENCE CENTERS ON ROBOTICS AS A TOOL OF LEAN PRODUCTION

Demyanova O.V., Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Production Economics;
ORCID: 0000-0003-3438-1457;
Mullakhmetov E.I., Postgraduate Student, Department of Production Economics, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-9972-4512;
E-mail: amirmullahmetov14@yandex.ru

Аннотация

Введение. Переход от реактивного обслуживания к проактивному на основе предиктивной аналитики становится ключевым фактором повышения операционной эффективности промышленных роботов. Центры компетенций по роботизации (ЦКР) с интеграцией искусственного интеллекта (ИИ) могут стать организационной платформой для тиражирования таких решений в логике бережливого производства.

Цель. Обосновать необходимость интеграции предиктивной аналитики и интеллектуальной поддержки принятия решений в архитектуру ЦКР как инструмента бережливого производства, предложить модель их внедрения на основе современных ИИ-алгоритмов и цифровых двойников.

Методика. Исследование базируется на анализе современных архитектур ИИ для прогнозного обслуживания промышленных роботов (LC-LSTM, AM-CNN-BiGRU, EQRNN+SNN, цифровые двойники), а также на обобщении практик зарубежных центров компетенций (BMW, IFR) в контексте устранения потерь (муда) в механообработке.

Результаты. Показано, что применение гибридных нейросетевых моделей позволяет достичь точности прогнозирования отказов до 95,45% и снизить внеплановые простои на 76%. Цифровые двойники в сочетании с agentic edge computing обеспечивают синхронизацию данных на 99,7% и сокращение простоев на 34-42%. Экономический эффект на предприятии с 10 роботами оценивается в 21 млн руб. годовой экономии при окупаемости 16 дней. Интеграция предиктивной аналитики в ЦКР позволяет устранить ключевые виды потерь бережливого производства – ожидание, дефекты и излишние запасы.

Заключение. Интеграция предиктивной аналитики в ЦКР позволяет перейти к проактивному обслуживанию, снизить затраты и повысить надёжность, что соответствует принципам бережливого производства. Ключевые направления развития – федеративное обучение, edge AI и самовосстанавливающиеся робототехнические системы.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, центры компетенций, роботизация, искусственный интеллект, цифровой двойник, прогнозное обслуживание, бережливое производство, промышленные роботы, нейросетевые модели, Индустрия 4.0

Abstract

Introduction. The shift from reactive to proactive maintenance based on predictive analytics is becoming a key factor in enhancing the operational efficiency of industrial robots. Robotics Competence Centers (RCCs) integrating artificial intelligence (AI) can serve as an organizational platform for scaling such solutions within a lean manufacturing framework.

Objective. To justify the need to integrate predictive analytics and intelligent decision support into the RCC architecture as a lean manufacturing tool, and to propose an implementation model based on modern AI algorithms and digital twins.

Methodology. The study is based on an analysis of modern AI architectures for the predictive maintenance of industrial robots (LC-LSTM, AM-CNN-BiGRU, EQRNN+SNN, digital twins) and a review of practices from international competence centers (BMW, IFR) regarding the elimination of waste (*muda*) in machining processes.

Results. It is demonstrated that the use of hybrid neural network models enables failure prediction accuracy of up to 95.45% and a 76% reduction in unplanned downtime. Digital twins combined with agentic edge computing ensure 99.7% data synchronization and a 34–42% reduction in downtime. The economic impact for a facility with 10 robots is estimated at 21 million rubles in annual savings, with a payback period of 16 days. Integrating predictive analytics into RCCs helps eliminate key types of lean manufacturing waste: waiting, defects, and excess inventory.

Conclusion. Integrating predictive analytics into RCCs facilitates a transition to proactive maintenance, reduces costs, and improves reliability, aligning with lean manufacturing principles. Key areas for future development include federated learning, edge AI, and self-healing robotic systems.

Keywords: predictive analytics, competence centers, robotization, artificial intelligence, digital twin, predictive maintenance, lean manufacturing, industrial robots, neural network models, Industry 4.0

Введение

Современные промышленные предприятия всё чаще сталкиваются с необходимостью повышения надёжности и эффективности роботизированных систем. Традиционное реактивное обслуживание (ремонт после отказа) и планово-предупредительное (по календарному графику) не позволяют минимизировать простои и затраты. Переход к проактивному обслуживанию на основе данных – предиктивной аналитике – становится стратегическим приоритетом в эпоху Индустрии 4.0.

В концепции бережливого производства (Lean Production), сформулированной Тайити Оно и развитой в работах Дж. Вумека и Д. Джонса, ключевым принципом является устранение потерь (муда) – любой деятельности, потребляющей ресурсы, но не создающей ценности для потребителя [10]. Классическими видами потерь являются перепроизводство, ожидание, лишняя транспортировка, излишняя обработка, излишние запасы, лишние перемещения и дефекты [10]. Предиктивная аналитика и интеллектуальная поддержка принятия решений позволяют адресно устранять эти потери на уровне роботизированных производственных систем.

Однако массовое внедрение таких решений сдерживается кадровым дефицитом, отсутствием типовых методик и разобщённостью экспертизы. В предшествующих исследованиях нами была предложена модель центров компетенций по роботизации (ЦКР) с интеграцией искусственного интеллекта (ИИ) – организационных структур, аккумулирующих экспертизу и сопровождающих предприятия на всех этапах внедрения роботизации [9]. Ключевым элементом такой модели является ИИ-ядро, выполняющее функции базы знаний, предиктивной

аналитики, генерации дорожных карт и мониторинга ключевых показателей эффективности (KPI).

Цель настоящей работы – обосновать необходимость интеграции предиктивной аналитики и интеллектуальной поддержки принятия решений в архитектуру ЦКР как инструмента бережливого производства и предложить модель их внедрения на основе современных ИИ-алгоритмов и цифровых двойников.

Методика

Исследование базируется на системном анализе научных публикаций за 2020-2026 гг., посвящённых прогнозному обслуживанию промышленных роботов. Проанализированы архитектуры нейросетевых моделей (LC-LSTM [1], AM-CNN-BiGRU [6], EQRNN+SNN [2], GRU/LSTM [5]), подходы к созданию цифровых двойников (Physics-Informed Digital Twin [3], Digital Twin + Unified Namespace [4]), а также практики зарубежных центров компетенций (BMW Competence Center for Physical AI [8], IFR [7]). Для оценки экономической эффективности использованы данные пилотных проектов, реализованных на предприятиях с парком промышленных роботов [10].

Основная часть

В классической модели бережливого производства выделяются семь видов потерь (муда): перепроизводство, ожидание, лишняя транспортировка, излишняя обработка, излишние запасы, лишние перемещения и дефекты [10]. Предиктивная аналитика позволяет адресно устранять следующие виды потерь на уровне роботизированных производственных систем:

– ожидание (простои) – прогнозирование отказов и переход к проактивному обслуживанию сокращает незапланированные простои на 30-76% [2, 3, 4], что напрямую снижает потери от ожидания оборудования;

– дефекты (брак) – цифровые двойники и мультисенсорный мониторинг позволяют выявлять отклонения в работе робота до того, как они приведут к производству бракованной продукции [3, 5]. Это соответствует принципу «встроенного качества» (Jidoka) в бережливом производстве [10];

– излишние запасы – точное прогнозирование остаточного ресурса (RUL) позволяет оптимизировать график закупки запасных частей и сократить страховые запасы [5, 6];

– излишняя обработка – мониторинг состояния инструмента и робота позволяет избегать излишней обработки, связанной с работой неоптимальных режимов из-за износа оборудования [1, 6].

Таким образом, предиктивная аналитика становится цифровым инструментом реализации философии бережливого производства на уровне роботизированных систем. Центры компетенций по роботизации выступают организационной платформой для тиражирования таких решений на отраслевом уровне.

Современные подходы к прогнозному обслуживанию промышленных роботов базируются на гибридных нейросетевых моделях, обрабатывающих мультисенсорные данные – вибрацию, температуру, ток, крутящий момент, акустические сигналы. Кратко поясним основные архитектуры, которые используются в таких моделях. Свёрточные нейронные сети (CNN) эффективно выделяют локальные пространственные признаки из временных рядов (например, из данных вибродатчиков). Рекуррентные нейронные сети (LSTM и GRU) предназначены для работы с последовательностями данных и позволяют улавливать долгосрочные временные зависимости – например, постепенное изменение крутящего момента на валу робота. Двунаправленные варианты (BiGRU, BiLSTM) анализируют последовательность как в прямом, так и в обратном направлении, что повышает точность прогноза. Механизм внимания (Attention) автоматически определяет, какие временные шаги или признаки наиболее важны для предсказания отказа. Спайковые нейронные сети (SNN) имитируют процессы в биологических нейронах и позволяют эффективно обрабатывать данные с низким энергопотреблением, что перспективно для edge-вычислений. Комбинируя эти подходы (CNN + LSTM,

CNN + BiGRU с вниманием и др.), исследователи достигают высокой точности прогнозирования отказов. Ниже представлены наиболее эффективные архитектуры, описанные в современной литературе.

Таблица 1

Сравнительная характеристика гибридных нейросетевых моделей для прогнозирования отказов промышленных роботов

№	Название архитектуры	Содержание (принцип работы)	Ключевой эффект
1	LC-LSTM (Lagrangian CNN + LSTM)	Комбинация свёрточной сети для извлечения пространственных признаков из данных датчиков и LSTM для прогнозирования временных рядов (угол поворота и крутящий момент каждой оси робота)	Точность 95,45% [1]
2	AM-CNN-BiGRU	Свёрточная сеть – для локальных пространственных признаков; двунаправленный GRU – для глобальных временных зависимостей; механизм внимания – для адаптивной расстановки весов признаков	Лучшие показатели по R^2 среди сравнимых моделей [6]
3	EQRNN + SNN (Enhanced Quantile Regression + Spiking Neural Networks)	Двухступенчатая архитектура: первый этап – регрессия квантилей для оценки неопределённости; второй этап – спайковая нейросеть для классификации состояния оборудования с 90-часовым окном предупреждения	Точность 92,3%, сокращение простоев на 76% [2]
4	GRU / LSTM (для сварочных роботов)	Рекуррентные сети с ячейками памяти (GRU или LSTM) для диагностики состояния MIG/MAG-сварочных роботов на основе мультисенсорных данных	Диагностическая точность до 94%, время вывода менее 100 мс [5]
5	Гибридная система (ARIMA, LOF, Random Forest + спектральный анализ)	Комбинация классических методов анализа временных рядов (ARIMA), методов обнаружения выбросов (LOF), ансамблевого обучения (Random Forest) и спектрального анализа для прогнозирования отказов на горизонте до 8 дней	Достоверность прогнозов 80–90% [10]

Источник: составлено авторами на основе [1, 2, 5, 6, 10].

Цифровые двойники позволяют моделировать физические процессы в реальном времени, синхронизируя данные с IoT-сенсорами и AI-моделями. Ключевые решения:

– Physics-Informed Digital Twin (P-DT) + Agentic Edge Computing – обеспечивает 99,7% синхронизации, улучшает чувствительность обнаружения отказов на 28,4% и снижает незапланированные простои на 34% [3].

– Digital Twin + Unified Namespace (UNS) – снижает простои на 42,25% за счёт обнаружения аномалий и предварительной инспекции [4].

– DTM + LC-LSTM – мониторинг состояния оборудования в реальном времени с высокой точностью [1].

Цифровой двойник позволяет не только прогнозировать, но и тестировать сценарии обслуживания без остановки производства, что критично для высокозагруженных предприятий. Это соответствует принципу «стандартизированной работы» в бережливом производстве – цифровой двойник фиксирует эталонное состояние процесса и сигнализирует об отклонениях [10].

ИИ-ядро ЦКР должно включать механизмы принятия решений. Согласно позиции IFR, ключевыми архитектурами являются: «Восприятие-Принятие решения-Исполнение» («Perception-Decision-Execution») для автономных коллаборативных роботов, Цифровые двойники и самообучение для обучения до физического развёртывания, а также обучение с подкреплением (Reinforcement Learning) для планирования движения и адаптивного управления в динамических средах [7]. Применение этих архитектур позволяет ЦКР не только прогнозировать отказы, но и формировать рекомендации по корректирующим действиям, автоматически обновлять программы обслуживания и обучать персонал. Это соответствует принципу «кайдзен» – непрерывному улучшению, поскольку каждое прогнозирование и корректировка становятся источником знаний для последующей оптимизации [10].

Зарубежные центры компетенций уже активно интегрируют предиктивную аналитику в свои сервисы. BMW Competence Center for Physical AI (Мюнхен) объединяет робототехнику и ИИ для автомобильного производства, разрабатывает собственные ИИ-модели, тестирует гуманоидных роботов. Сознательно отказывается от «чёрных ящиков» в реальном производстве, использует NVIDIA Robotics как базу [8]. IFR (International Federation of Robotics) в своём документе выделяют Physical AI и Generative AI как ключевые направления развития, требующие создания специализированных центров компетенций [7].

В российской практике аналогичные функции выполняет Производственная система Росатома (ПСР), где принципы бережливого производства интегрируются с цифровыми технологиями, включая прогнозное обслуживание оборудования [10]. Это подтверждает, что центры компетенций становятся ключевым звеном в трансфере технологий от разработчиков к промышленности.

Пилотный проект УрФУ на базе робота Fanuc LR Mate 200iD показал, что переход от реактивного обслуживания (простои – дни) к проактивному (4-8 часов регламентных работ) даёт кратный эффект. Экономический эффект на предприятии с 10 роботами оценивается в 21 млн руб. в год, срок окупаемости системы – 16 дней [10]. Другие исследования подтверждают снижение простоев на 30-40% на автомобильных сборочных линиях [7] и увеличение срока службы оборудования на 20-25% [5]. Эти результаты напрямую соотносятся с целями бережливого производства – снижение затрат и повышение эффективности без дополнительных капитальных вложений.

Согласно позиции IFR [7], ключевыми трендами являются: федеративное обучение (распределённое обучение AI-моделей без централизации данных), Edge AI (перенос вычислений на периферийные устройства), самовосстанавливающиеся роботы (Self-healing Robotics) [3], Generative AI для роботов (создание кода по естественно-языковым инструкциям) и Physical AI (тренировка в виртуальных средах) [7][8]. Эти тренды формируют новые требования к ЦКР: они должны не только внедрять готовые решения, но и участвовать в разработке стандартов, обучении кадров и адаптации технологий под отраслевую специфику, что полностью соответствует философии бережливого производства и непрерывного улучшения [10].

Обсуждение

Предложенная модель интеграции предиктивной аналитики в ЦКР как инструмента бережливого производства согласуется с мировыми практиками и подтверждается эмпирическими данными. Ключевое отличие от существующих подходов – центральная роль ИИ-ядра, объединяющего прогнозные модели, цифровые двойники и механизмы принятия решений

в единую архитектуру на основе принципов устранения потерь. Это позволяет не только прогнозировать отказы, но и автоматически формировать дорожные карты обслуживания, оптимизировать графики ремонтов и перераспределять ресурсы, что соответствует целям бережливого производства – минимизация всех видов потерь.

Ограничением исследования является отсутствие пилотной апробации предложенной модели на конкретном отраслевом центре в России. Однако приведённые международные кейсы и количественные оценки экономического эффекта создают основу для последующей верификации.

Выводы

Интеграция предиктивной аналитики в центры компетенций по роботизации позволяет перейти от реактивного обслуживания к проактивному, снижая внеплановые простои на 30-76% и увеличивая срок службы оборудования на 20-25%, что непосредственно устраняет потери от ожидания и дефектов в бережливом производстве.

Наиболее эффективными архитектурами являются гибридные нейросетевые модели (LC-LSTM [1], AM-CNN-BiGRU [6], EQRNN+SNN [2]), обеспечивающие точность прогнозирования до 95,45%, а также цифровые двойники с агентным edge-вычислением [3], снижающие простои на 34-42%.

Зарубежные центры компетенций (BMW [8]) демонстрируют успешные практики интеграции ИИ и робототехники, подтверждая необходимость создания аналогичных структур в России в рамках развития Производственной системы Росатома и других отраслевых инициатив.

Экономическая эффективность подтверждена: окупаемость систем предиктивной аналитики составляет от 16 дней [10] до нескольких месяцев при годовой экономии от 21 млн руб. на предприятии с 10 роботами, что соответствует целям бережливого производства по снижению затрат.

Перспективными направлениями являются федеративное обучение, самовосстанавливающиеся роботы и генеративный ИИ [7], что требует от ЦКР постоянного развития компетенций и участия в разработке отраслевых стандартов в логике непрерывного улучшения (кайдзен).

Список литературы

1. Liu J. et al. Digital-Twin-Based Modeling and Fault Prediction Method for Industrial Robots // IEEE Access. 2025. Vol. 13. P. 1776-1794. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.10979365. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10979365 (дата обращения: 22.08.2026).

2. Chen Y. et al. Enhanced Quantile Regression with Spiking Neural Networks for Long-Term System Health Prognostics // arXiv:2501.05087. 2025. URL: http://arxiv.org/abs/2501.05087v1 (дата обращения: 22.08.2026).

3. Aasa Z., Elias F., Karimian N. Physics informed digital twin approach for real time predictive maintenance of collaborative robotic arms // Discover Electronics. 2026. Vol. 3, Article 89. DOI: 10.1007/s44291-026-00241-8. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s44291-026-00241-8 (дата обращения: 22.08.2026).

4. Pillai R.K.S., O'Connell E., Denny P. Role of Unified Namespace (UNS) and Digital Twins in Predictive and Adaptive Industrial Systems // Machines. 2026. Vol. 14, № 2, Article 252. DOI: 10.3390/machines14020252. URL: https://doi.org/10.3390/machines14020252 (дата обращения: 22.08.2026).

5. Integrated Diagnosis and Prognosis of Dynamic Systems Using Deep Learning: Case Study on a Welding Robot // IEEE Access. 2026. Vol. 14. P. 36737-36757. DOI: 10.1109/ACCESS.2026.11422850. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/11422850 (дата обращения: 22.08.2026).

6. Zang Z. et al. An AM-CNN-BiGRU network with spatiotemporal feature fusion for industrial robot predictive maintenance // Scientific Reports. 2025. Vol. 15, Article 44961. DOI: 10.1038/s41598-

025-29255-0. URL: https://link.springer.com/article/10.1038/s41598-025-29255-0 (дата обращения: 22.08.2026).

7. IFR (International Federation of Robotics). Position Paper on Physical AI and Generative AI in Robotics. 2025. URL: https://ifr.org/news/new-ifr-position-paper-on-humanoid-robots-published/ (дата обращения: 22.08.2026).

8. BMW Group. Competence Center for Physical AI – Munich // CIO Magazine. 2026. URL: https://www.cio.de/a/ki-made-in-germany-bmw-gruendet-zentrum-fuer-physical-ai,3657834 (дата обращения: 22.08.2026).

9. Демьянова, О. В. Центры компетенций по роботизации как инструмент преодоления барьеров внедрения промышленных роботов в машиностроении / О. В. Демьянова, Э. И. Муллахметов // Информация и инновации. – 2026. Т. 21, № 3. – С. 45–58. – URL: https://journal.icsti.int/jour/article/view/349 (дата обращения: 22.08.2026).

10. УрФУ. Разработка системы прогнозирования отказов для промышленных роботов на базе гибридной модели – отчёт по проекту для Fanuc LR Mate 200iD. Екатеринбург, 2025.

УДК 332.14

НЕОДНОРОДНОСТЬ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Динмухаметова А.А., к.э.н., ведущий научный сотрудник ОСП «Центр перспективных экономических исследований АН РТ», доцент кафедры бизнес-статистики и экономики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1262-5588

UNEVENNESS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN REGIONAL ECOSYSTEMS

Dinmukhametova A.A., PhD in Economics, leading Researcher at the Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Associate Professor at the Department of Business Statistics and Economics at the Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1262-5588

Аннотация

Технологическая трансформация приобрела характер необратимого и повсеместного процесса, кардинально меняющего устои мировой экономики и динамику взаимодействия между государственными структурами, коммерческими организациями и гражданским обществом. Эмпирические исследования показывают, что технологическое неравенство не только закрепляет, но и усиливает существующие социально-экономические разрывы. Территории с недостаточно развитой цифровой средой сталкиваются с сужением возможностей для хозяйственного роста, образовательного развития и общественного участия, что ставит под угрозу общую конкурентоспособность страны из-за фрагментации технологического и промышленного потенциала. Специфика российской экономики, характеризующаяся высокой степенью пространственной гетерогенности и разницей в ресурсном обеспечении, придаёт данной проблеме исключительную остроту. Для её решения необходим надёжный диагностический инструмент количественной оценки технологических дисбалансов. В данном исследовании предлагается подход к измерению уровня технологического неравенства через вычисление

β-конвергенции, что даёт возможность отследить скорость изменения разрыва между регионами. Эмпирические данные фиксируют устойчивую разнонаправленность технологической эволюции: одни субъекты активно прогрессируют, тогда как другие стремительно деградируют, что обрекает последние на сохранение периферийного статуса. Практическая значимость заключается в возможности использования предложенного подхода для корректировки региональной научно-технической политики, адресного распределения бюджетных ресурсов и разработки адаптивных стратегий сокращения цифрового неравенства. Дальнейшие исследовательские усилия должны быть направлены на анализ причинно-следственных связей между инвестициями в цифровую инфраструктуру и динамикой регионального экономического роста, а также на оценку эффективности реализуемых мер политики.

Ключевые слова: научно-технологическое лидерство, асимметрия, региональные экосистемы

Abstract

Technological transformation has become an irreversible and pervasive process, fundamentally altering the foundations of the global economy and the dynamics of interaction between government agencies, businesses, and civil society. Empirical research shows that technological inequality not only entrenches but also exacerbates existing socioeconomic gaps. Regions with underdeveloped digital environments face diminished opportunities for economic growth, educational development, and civic participation, threatening the country's overall competitiveness due to the fragmentation of technological and industrial potential. In the Russian Federation, this problem is particularly acute due to historically established spatial heterogeneity and differences in resource endowments across regions. Under these circumstances, the development of reliable diagnostic tools is required to quantitatively assess regional technological disparities and identify areas of growth. The aim of this study is to propose an approach to assessing the level of regional technological differentiation based on the β-convergence index, which allows for the identification of the rate of convergence or divergence of regions based on key indicators of technological development. The obtained results confirm the existence of persistent unevenness in the pace of technological progress: some regions demonstrate accelerating dynamics, while others lag significantly behind, leading to the preservation of the peripheral status of depressed territories. The practical significance of this approach lies in the potential use of this approach to adjust regional scientific and technological policy, target budget allocation, and develop adaptive strategies for reducing the digital divide. Further research efforts should be focused on analyzing the cause-and-effect relationships between investments in digital infrastructure and regional economic growth dynamics, as well as assessing the effectiveness of implemented policy measures.

Keywords: scientific and technological leadership, asymmetry, regional ecosystems

Введение

Неравномерность социально-экономического развития российских регионов обусловлена их историческим и природным разнообразием. В условиях ускоряющейся цифровизации данная неоднородность создаёт реальные предпосылки для дальнейшего нарастания межтерриториальных дисбалансов. Пространственная поляризация является системной чертой экономики России, ведущей к углублению и закреплению межрегиональных диспропорций. Возникающая в результате периферизация значительной части территорий, наряду с хроническим недоиспользованием их ресурсного и человеческого потенциала, формирует «ловушку неравномерного развития». Эта ловушка выступает одним из ключевых структурных ограничений для долгосрочных темпов экономического роста страны.

Цифровой разрыв между российскими регионами напрямую обусловлен дифференциацией доходов, которая подавляет платёжеспособный спрос на технологии и инвестиции в их развитие, консервируя отставание территорий. Проблема носит системный характер

и актуальна для России не только в социальном, но и в стратегическом ключе, затрагивая задачи технологического суверенитета и единства экономического пространства.

Для комплексной оценки дифференциации региональных систем Российской Федерации проанализируем ключевые индикаторы социально-экономического положения (среднедушевые денежные доходы) и показатели, отражающие цифровое развитие. Индекс Джини также характеризует об усиливающемся разрыве доходов населения Российской Федерации с 2022 по 2024 гг. (рис. 1).

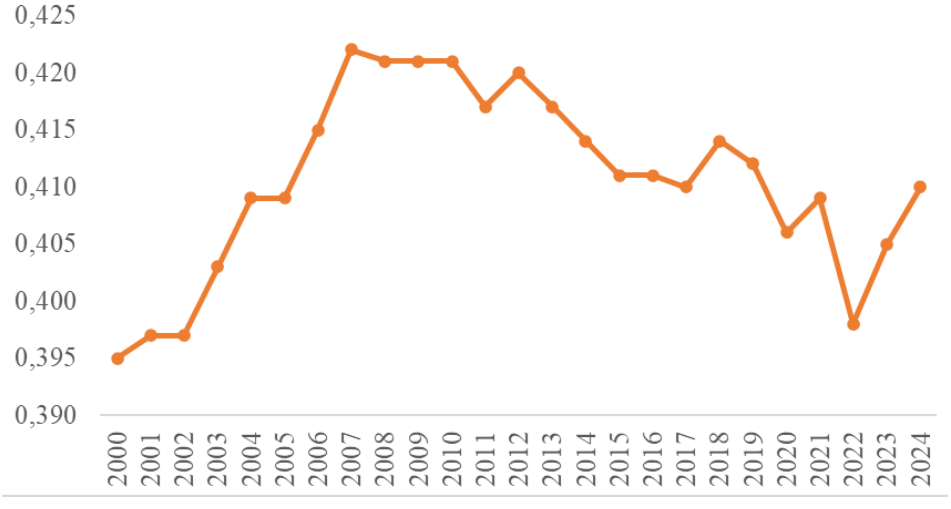


Рис. 1. Индекс Джини (индекс концентрации доходов),
Российская Федерация, 2000-2024 гг.

Таблица 1

Описательная статистика среднедушевых денежных доходов за 2024 г.

Среднее	58492,805	Эксцесс	8,153
Стандартная ошибка	2927,561	Асимметричность	2,687
Медиана	51119	Интервал	160376
Мода	64985	Минимум	27311
Стандартное отклонение	27306,471	Максимум	187687
Дисперсия выборки	745643384,159	Сумма	5088874

Проведенная описательная статистика (табл. 1) подтверждает и детализирует картину глубокой поляризации. Среднее арифметическое значение (58492,81 руб.) существенно, почти на 14 тыс. руб., превышает медиану (51119 руб.). Это классический признак сильной правосторонней асимметрии (2,69), означающей, что распределение смещено влево: большинство регионов имеют доходы ниже среднего, а «хвост» из немногочисленных, но чрезвычайно богатых регионов «тянет» среднее значение вверх, искажая представление о благосостоянии типичного субъекта.

Причины неравного доступа к цифровым технологиям коренятся в совокупности взаимосвязанных факторов. Фундаментальным является географический и инфраструктурный фактор: огромная территория, низкая плотность населения в значительной части регионов и высокая стоимость прокладки линий связи в труднодоступных местностях.

В табл. 2 представлены показатели, отражающие уровень использования информационных технологий домашними хозяйствами. Данные свидетельствуют о наличии выраженного цифрового неравенства между городскими и сельскими домохозяйствами.

Таблица 2

Использование информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей в домашних хозяйствах по типам поселения в РФ за 2024 г.

	Число домашних хозяйств – всего, тыс. ед.	из них имевших (в процентах от общего числа домашних хозяйств)			
		компьютер	доступ в Интернет	доступ в Интернет с компьютера	широкополосный доступ в Интернет
Всего	66 061,4	72,2	90,4	64,6	89,8
город	51 493,7	75,7	91,7	68,8	91,3
село	14 567,7	59,6	85,9	49,5	84,5

Наиболее заметный разрыв наблюдается в наличии компьютера (разница в 16,1%) и, что критически важно, в доступе в интернет именно с компьютера (разница в 19,3%). Это указывает на то, что даже при наличии устройства почти каждый второй сельский пользователь лишён возможности использовать его для полноценного выхода в сеть. Этому может послужить более низкий уровень доходов в сравнении с городским поселением, что делает покупку и обслуживание компьютера более существенной финансовой нагрузкой.

В условиях усиливающейся социально-экономической дифференциации, вопросы исследования технологической асимметрии представляют особый интерес.

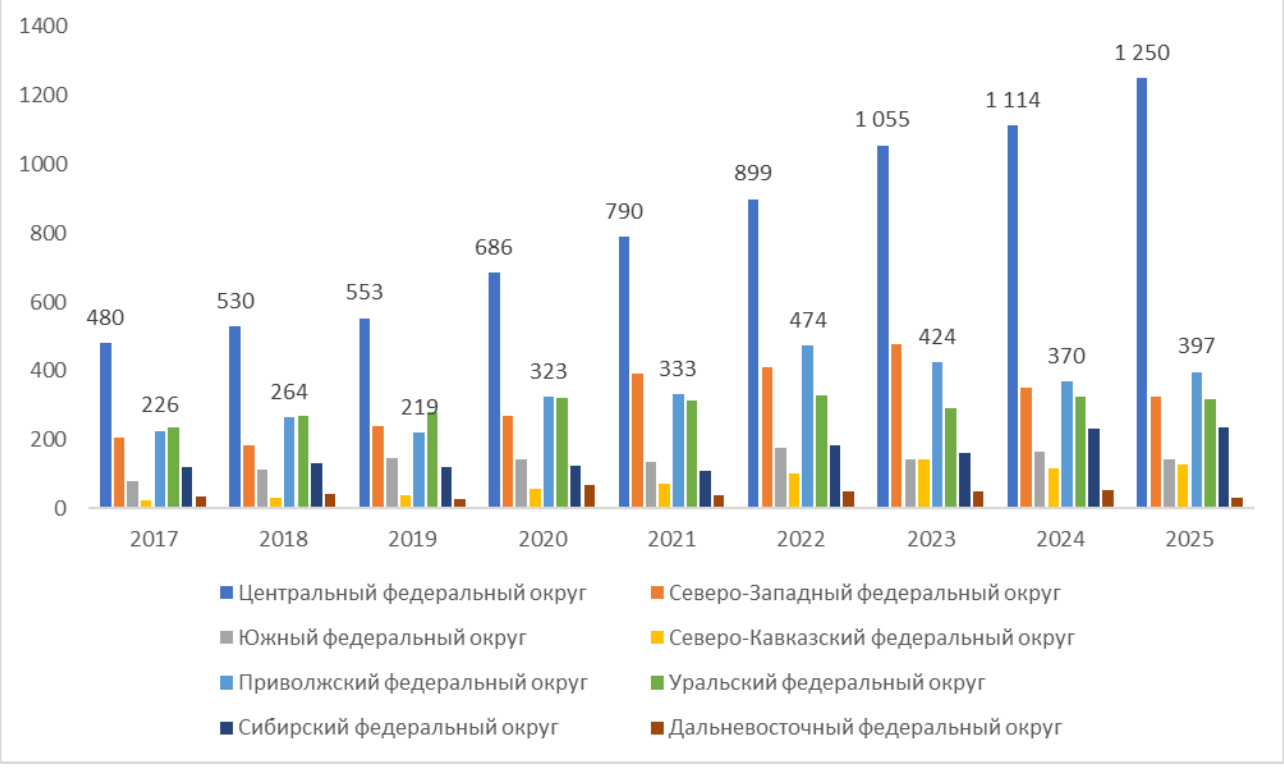
Изучению уровня научно-технологического потенциала регионов и его влияния на динамику экономического роста посвящено значительное число работ как отечественных, так и зарубежных авторов. Так, Е.С. Болтунова и Г.П. Беляков трактуют научно-технологическое развитие как определяющий фактор регионального экономического роста [1–2]. И.М. Голова, А.Ф. Суховей и В.И. Бывшев, напротив, делают акцент на необходимости учёта региональной специфики при выработке управленческих решений в технологической сфере [3–4]. В зарубежных исследованиях, посвящённых внедрению новых технологий, всё чаще акцентируется внимание на управленческом аспекте [5-8]. Помимо высокой исследовательской значимости самого процесса технологического развития, особый интерес представляет совместный анализ двух аспектов: пространственной дифференциации и темпов внедрения технологий. Для количественной оценки скорости последнего в настоящей работе применяется показатель β-конвергенции, расчёт которого осуществляется по приведённым ниже формулам.

$$ln\, Y_{iT} - ln\, Y_{i0} = b_0 + b_1 * ln\, Y_{i0} + e_i$$

$$\beta = \frac{ln\,(1 - b_1 T)}{T}$$

Понятие β-конвергенции вытекает из неоклассической теории экономического роста. В модели Солоу это сформулировано следующим образом «каждый дополнительный процент прироста капитала на одного работника приносит всё меньший прирост ВВП на душу населения.» Таким образом, расчет β-конвергенции позволяет проверить гипотезу, согласно которой скорость развития у отстающих территорий протекает более высокими темпами, чем у более развитых.

В качестве показателя, отражающего состояние научно-технологического развития в федеральных округах выбран показатель «Число разработанных передовых производственных технологий». Исходные данные представлены на рис. 2.



Источник: https://fedstat.ru/indicator/58661

Рис. 2. Число разработанных передовых производственных технологий, ед.

Заключение

Проведённый расчёт β-конвергенции в разрезе федеральных округов свидетельствует о β = – 0,01. Отрицательный знак подтверждает гипотезу о наличии «сходимости»: округа с относительно низким стартовым уровнем технологического развития в среднем наращивали свои показатели несколько быстрее, чем более развитые территории. Тем не менее близость коэффициента к нулю свидетельствует о чрезвычайно низкой скорости данного процесса.

Благодарность

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025)

Список литературы

1. Болтунова, Е. С. Научно-технологическое развитие – важнейшее условие устойчивого социально-экономического развития регионов / Е. С. Болтунова // Общество и цивилизация. – 2023. – Т. 5, № 1. – С. 25-28.

2. Беляков Г.П., Багдасарян Н.А. Научно-технологическое развитие региона как объект стратегического планирования // Фундаментальные исследования. – 2021. – № 12. – С. 60-67.

3. Голова, И. М. Дифференциация стратегий инновационного развития с учетом специфики российских регионов / И. М. Голова, А. Ф. Суховей // Экономика региона. – 2019. – Т. 15, № 4. – С. 1294-1308. – DOI 10.17059/2019-4-25.

4. Бывшев, В. И. Дифференциация субъектов Российской Федерации для реализации региональной научно-технологической и инновационной политики / В. И. Бывшев, И. А. Пан-

телеева, И. В. Писарев // Экономика региона. – 2024. – Т. 20, № 3. – С. 702-717. – DOI 10.17059/ekon.reg.2024-3-7.

5. Tagscherer L., Carbon C.-C. Leadership for successful digitalization: A literature review on companies' internal and external aspects of digitalization // Sustainable Technology and Entrepreneurship. – 2023. – Vol. 2, № 2. – Article 100039. – ISSN 2773-0328. – DOI: 10.1016/j.stae.2023.100039.

6. Helming S., Ungermann F., Hierath N., Stricker N., Lanza G. Development of a training concept for leadership 4.0 in production environments // Procedia Manufacturing. – 2019. – Vol. 31. – P. 38–44. – DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.007.

7. Digital workplace management: Exploring aspects related to culture, innovation, and leadership // 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). – Portland, 2018. – P. 1–6. – DOI: 10.23919/PICMET.2018.8481807.

8. Yoo Y., Henfridsson O., Lyytinen K. Research commentary-The new organizing logic of digital innovation: an agenda for information systems research // Information Systems Research. – 2010. – Vol. 21, № 4. – P. 724–735. – DOI: 10.1287/isre.1100.0322.

УДК 681.84

СОВРЕМЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Егоров Д.В., магистр;
Кокунин П.А., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой физики перспективных технологий и материаловедения;
Фоминов А.Д., магистр Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

MODERN SOFTWARE FOR THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF LOUDSPEAKERS

Egorov D.V., master's student;
Kokunin P.A., Ph.D. in technical sciences, associate professor, head of the department of physics of advanced technologies and materials science;
Fominov A.D., master's student, Institute of Artificial Intelligence, Robotics, and Systems Engineering Kazan Federal University, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматривается современный подход к разработке акустических систем. Описываются виды программного обеспечения для разработки акустических систем. Анализируются этапы разработки акустических систем и оценивается поддержка этапов программными решениями. Представлен опыт разработки акустических систем с применением бесплатных программ. Описываются проблемы, возникшие при использовании программного обеспечения во время разработки акустических систем. Сделан вывод о целесообразности разработки нового программного обеспечения для улучшения процесса разработки и workflow.

Ключевые слова: акустические системы, треугольник компромиссов «нейтральность-доступность-громкость», этапы разработки акустических систем, программное обеспечение для разработки акустических систем, динамическая головка

Abstract

The article examines a modern approach to acoustic system development. Various types of software used for acoustic system design are described. The development stages are analyzed, and the support provided by software solutions at each stage is evaluated. Practical experience in developing acoustic systems using free software is presented. Problems encountered during the use of software in the development process are described. A conclusion is drawn regarding the feasibility of developing new software to improve the development process and workflow.

Keywords: loudspeakers, “neutrality-affordability-loudness” trade-off triangle, loudspeaker design stages, software for loudspeakers development

Введение

Акустические системы (далее – АС) – важная часть современной жизни. Они используются для передачи информации, общения, а также для создания и воспроизведения искусства.

За долгую историю аудио индустрии было выпущено бесчисленное количество моделей от самых разных производителей. Почти любой человек, который захочет выбрать себе систему из этого огромного множества, столкнется с проблемой. Как можно предугадать звучание системы? Из-за маркетинга производители не очень любят делиться полными характеристиками и измерениями АС, а если такая информация предоставлена, то она чаще всего низкого качества.

Альтернативой покупки готовой АС является разработка с нуля. При таком подходе есть возможность задать свои целевые характеристики и функционал. Также у разработчика появляется контроль над своим дизайном, что позволяет использовать современные подходы и методы оптимизации.

В данной работе рассмотрены этапы разработки АС и программное обеспечение, используемое на этих этапах.

Современный подход к разработке АС

Современный подход к разработке можно описать треугольником «нейтральность-доступность-громкость» (рис. 1).

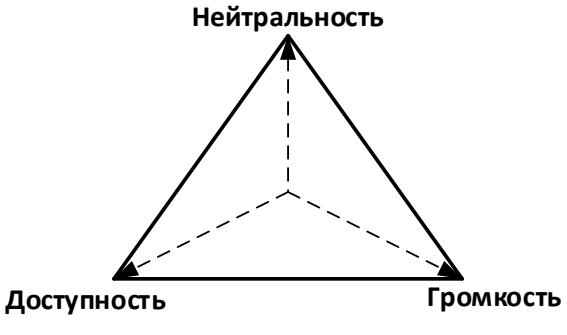


Рис. 1. Треугольник компромиссов «нейтральность-доступность-громкость»

Под нейтральностью понимается минимальное присутствие линейных и нелинейных искажений, а также ошибок направленности (стандарт CTA-2034-A). Под громкостью понимается максимальное звуковое давление при заданном уровне нелинейных искажений. Под доступностью понимается стоимость и наличие для покупки на рынке.

При разработке АС необходимо соблюдать баланс между тремя этими параметрами, чтобы получить оптимальный дизайн для поставленных целевых характеристик.

Обзор программного обеспечения (ПО) для разработки акустических систем

Условно ПО можно разделить на 4 категории по функционалу:

1) проведение измерений;
2) проведение расчетов;
3) симуляция/моделирование;
4) оптимизация.

Часто ПО может охватывать несколько категорий.

1. Измерительное ПО – это ПО, предназначенное для измерения акустических, электрических и электроакустических характеристик. Например, Room EQ Wizard [1] (рис. 2), который позволяет измерять Амплитудно-частотную характеристику, фазо-частотную характеристику и другие акустические параметры, сопротивление динамических головок, конденсаторов, катушек индуктивности.

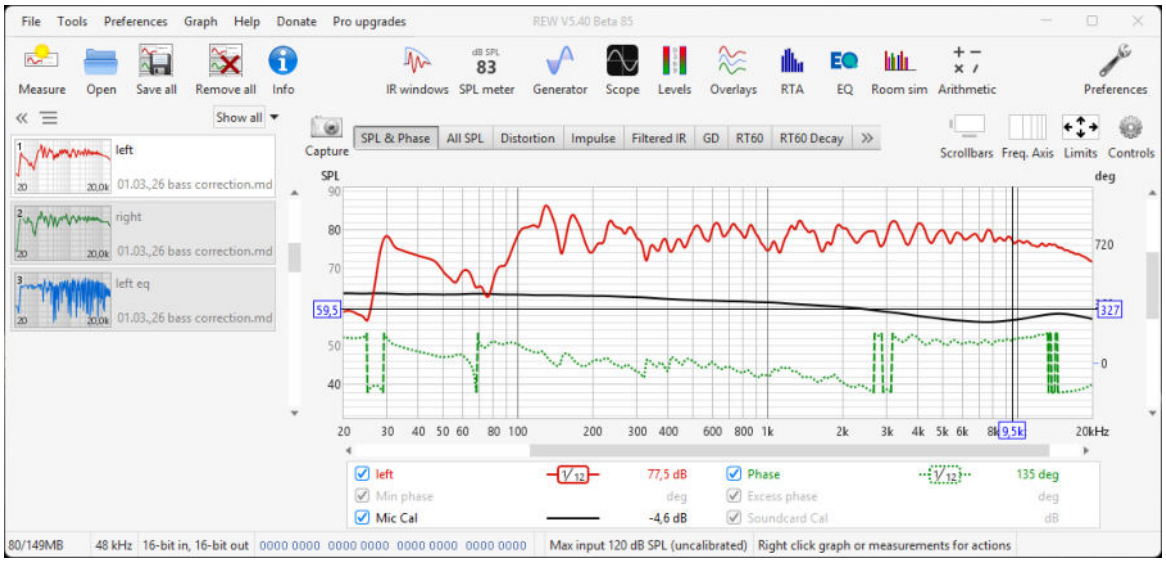


Рис. 2. Room EQ Wizard

Есть и другие программные решения, например, ARTA, Loudsoft R+D, LspCAD. Они отличаются стоимостью и доступными методами измерения.

2. ПО для расчета – это ПО, которое позволяет выполнять расчеты на основе параметров или измерений. Например, VituixCAD [2], встроенные инструменты которого позволяют рассчитывать размеры корпуса с учетом замещаемого воздуха, максимальное временное окно для измерений и их точность, влияние дифракции и другие (рис. 3).

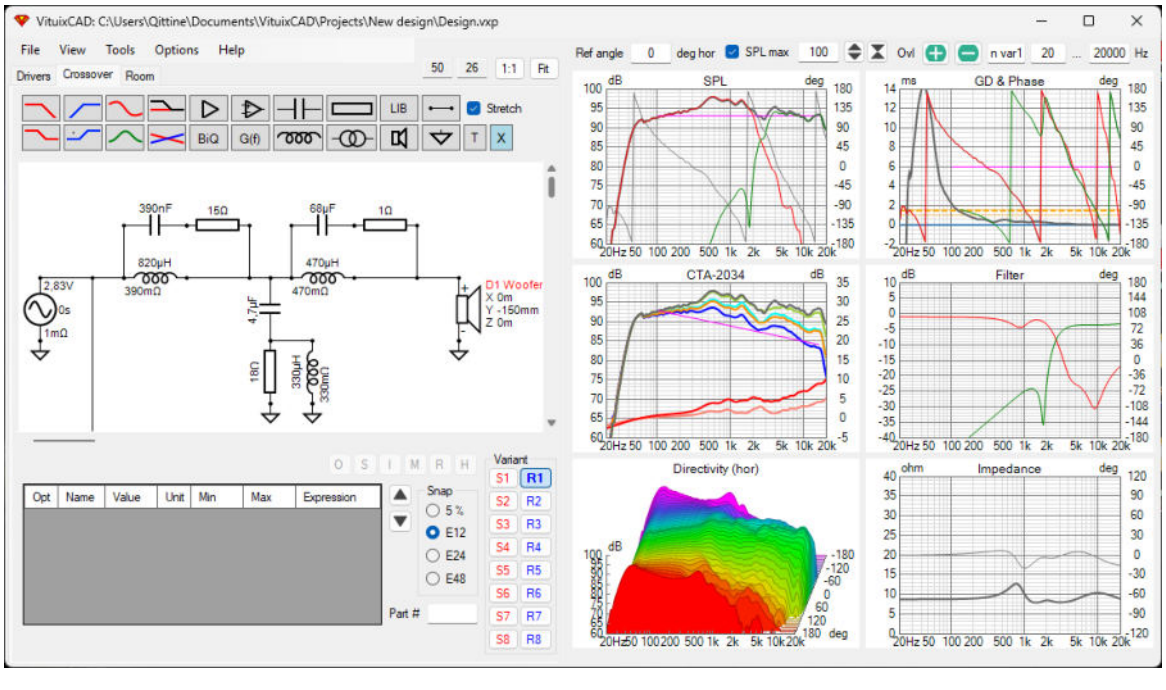


Рис. 3. Основной интерфейс VituixCAD

Функционал расчета в разной степени содержится в большинстве программ.

3. ПО для симуляции/моделирования – это ПО для симуляции работы разработанного дизайна или для моделирования компонентов на основе их параметров. Например, VituixCAD [2], который позволяет моделировать динамические головки на основе параметров Тиля-Смолла и симулировать работу кроссовера (рис. 4).

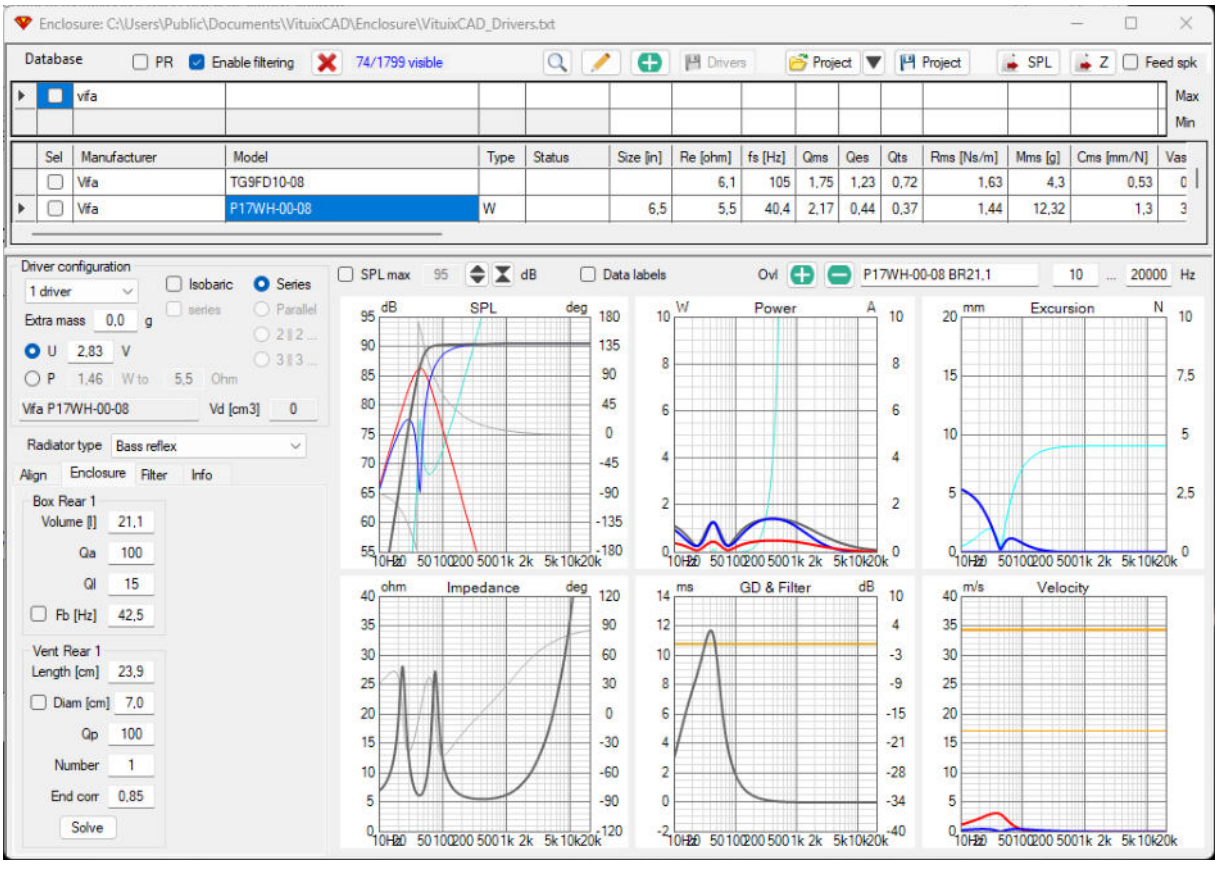


Рис. 4. Окно моделирования динамической головки

К ПО для симуляции/моделирования относятся WinISD, Hornresp, spkrd и другие. Это самая обширная категория программ.

4. ПО для оптимизации – это ПО, которое помогает проверить и улучшить разработанный дизайн. Например, подбор значений компонентов, как в VituixCAD, подбор схемы кроссовера, как в Xmachina [3], или модальный анализ, как во FreeCAD.

Этапы разработки АС короткий список

В упрощенном виде процесс разработки акустических систем состоит из 5 этапов. Детализация этапов представлена в табл. 1.

Из анализа распределения ПО по этапам разработки можно выделить следующее:

– бесплатное ПО очень развито и может помочь почти на каждом этапе;

– есть потенциал в ПО для параметрической оптимизации (геометрия корпуса, расположение динамических головок);

– есть плохо развитая ниша ПО для автоматизированного подбора активных и пассивных кроссоверов;

– нет ПО для итерационной оптимизации по нескольким этапам одновременно.

Опыт разработки АС

Далее представлен опыт разработки АС с использованием бесплатных программ Room EQ Wizard, VituixCAD и XMachina., а также описание возникших проблем и трудностей. Разработка АС содержит 5 этапов.

Таблица 1

Этапы разработки АС

Этап	Цель	Вопросы	Проблемы/Задачи	Полезные ресурсы и ПО
1) Разработка технического задания	Выбрать целевые характеристики и ограничения.	1) Какие максимальные габарита АС? 2) Какая желаемая громкость АС? 3) Какой диапазон частот? 4) Какой бюджет? 5) Какие требования к нейтральности звучания?	1) Необходимо соблюсти баланс между характеристиками. 2) Целевые характеристики и ограничения должны быть реализуемыми.	spinnorama audiosciencereview аудио журналы научные работы
2) Выбор динамических головок	Выбрать динамические головки, вокруг которых будет вестись разработка.	1) Какое количество динамических головок использовать? 2) Какой вид динамических головок использовать? 3) Как работать с разбросом параметров динамических головок? 4) Как симулировать работу динамических головок?	1) Необходимо определиться с количеством полос и типом динамических головок для них. 2) У динамических головок должен быть приемлемый разброс по параметрам. 3) Необходимо измерять динамические головки, потому что параметры обычно отличаются от даташита, если он есть. 4) Необходимо смоделировать работу динамической головки с учетом типа акустического оформления.	REW ARTA VituixCAD LoudSoft Hornresp AKABAK LspCAD

Окончание табл. 1

Этап	Цель	Вопросы	Проблемы/Задачи	Полезные ресурсы и ПО
3) Расчет корпуса	Разработать дизайн корпуса	1) Какие внутренние и внешние размеры корпуса? 2) Какая толщина стенок? 3) Как бороться с резонансами корпуса? 4) Как и где будут крепиться динамические головки? 5) Как оценить влияние дифракции? 6) Как изготовить корпус?	1) Необходимо определиться с материалом корпуса и методом изготовления. 2) Подобрать объем для динамических головок. 3) Выбрать места размещения динамических. головок и рассчитать baffle step 4) Борьба с резонансами корпуса.	REW ARTA VituixCAD LoudSoft Hornresp AKABAK LspCAD FreeCAD
4) Разработка кроссовера	Выбрать оптимальный кроссовер	1) Как выбрать схему и номиналы компонентов пассивного кроссовера? 2) Как выбрать фильтры активного кроссовера? 3) Как проверить работу кроссовера?	1) Выбрать частотный диапазон 2) Выбрать частоты разделения полос. 3) Выбрать тип кроссовера. 4) Выбрать целевую АЧХ (CTA-2034-A) 5) Провести измерения. 6) Подобрать схему и фильтры. 7) Симуляция работы кроссовера.	VituixCAD LoudSoft LspCAD AKABAK XMachina
5) Оптимизация	Улучшение дизайна	1) Можно ли улучшить кроссовер? 2) Можно ли улучшить корпус? 3) Нужна ли дополнительная эквализация?	1) Проверка работы дизайна методом слепого. прослушивания или на основе расчета оценки. 2) Выделить слабые стороны. 3) Оценить влияние и необходимость коррекции.	REW ARTA VituixCAD LoudSoft Hornresp AKABAK LspCAD FreeCAD XMachina

Этап 1 – разработка технического задания

Было решено разрабатывать АС с максимальной нейтральностью звучания с бюджетом до 50 тысяч рублей и громкостью 80-90 дБ. АС должна воспроизводить частоты ниже 100 Гц для использования без сабвуфера.

Этап 2 – выбор динамических головок

Была выбрана 2-х полосная схема: одна динамическая высокочастотная (ВЧ) головка и одна низкочатоная-средчастотная (НЧ/СЧ) динамическая головка. В роли НЧ/СЧ головки была выбрана Vifa P17WJ00-04 из-за их низкой резонансной частоты, высокой мощности и ровной заявленной АЧХ. В роли ВЧ головки были выбраны MeloDavid CB25 из-за высокой мощности, ровной заявленной АЧХ и возможной частоты кроссовера от 2 кГц.

С использованием программы Room EQ Wizard были измерены сопротивление динамических головок Vifa и рассчитаны их параметры Тиля-Смолла. Расхождения заявленных и измеренных параметров представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица параметров динамической головки Vifa

Параметр	Заявленное значение	Измеренное значение	Разница
fs	37	41,7	+13%
Qms	1,55	2,84	+83%
Qes	0,45	0,41	-9%
Qts	0,35	0,36	+3%
Mms	14	15,8	+13%
Vas	34,7	25,55	-26%
Bl	6,5	6,04	-7%
Lp (1W/1m)	88	88,4	+0,5%

На основе параметров Тиля-Смолла динамические головки были смоделированы в программе VituixCAD. Для достижения широкого диапазона низких частот было выбрано акустическое оформление с портом.

На этом этапе программы хорошо отточены, поэтому сложностей не возникло.

Этап 3 – расчет корпуса

Для изготовления корпуса был выбран материал МДФ 18 мм из-за доступности и простоты фрезеровки. Объем корпуса был выбран на основе результатов моделирования динамических головок. Модель корпуса была построена в FreeCAD.

Возникли проблемы при выборе места расположения динамических головок. Было необходимо расположить их таким образом, чтобы влияние дифракции было минимальным, не возникло проблем при изготовлении детали и была внутренняя распорка для подавления резонансов корпуса. Из-за отсутствия нужных инструментов был выбран самый простой дизайн с легким изготовлением детали, но сильным влиянием дифракции (рис. 5).

Этап 4 – разработка кроссовера

Для разработки кроссовера необходимо измерить спинораму по стандарту CTA-2034-A.

Возникли проблемы при автоматизации процесса измерения. Программа не позволяет получить доступ к измерительным возможностям без покупки расширения и из-за этого пришлось использовать механизм подписи на оповещение об окончании измерений. При таком подходе много времени тратится на простаивание в ожидании начала следующего измерения.

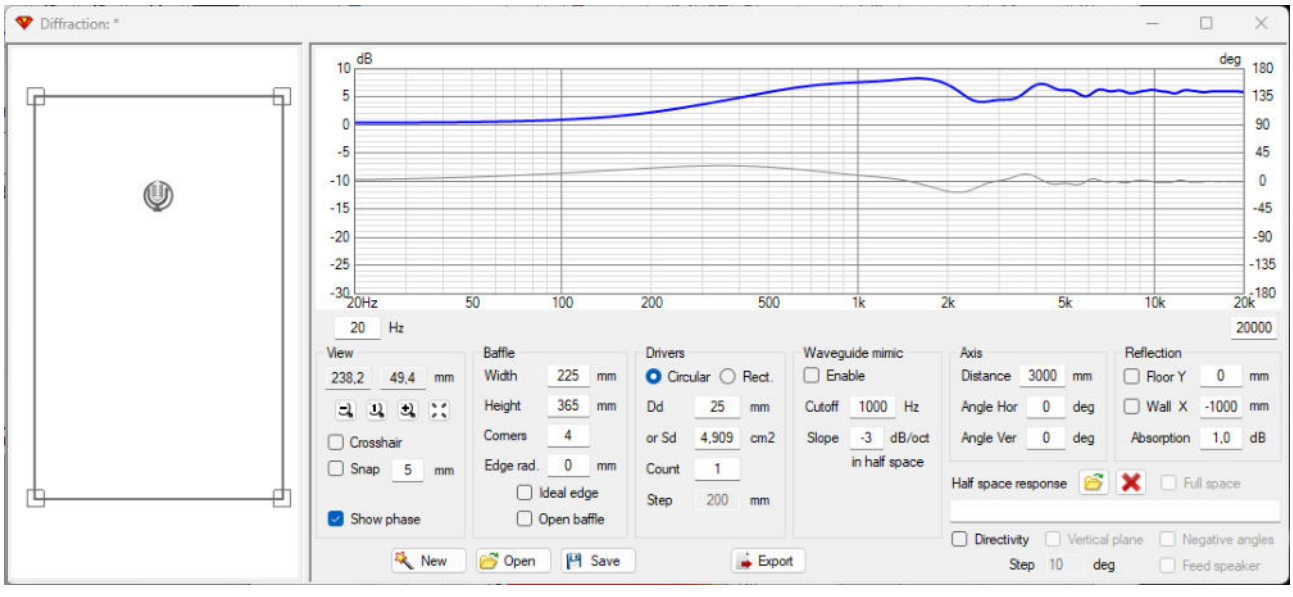


Рис. 5. Расчет влияния дифракции для ВЧ динамической головки

После проведения измерений по методике, которая позволяет получить данные близкие к данным, полученным в безэховой камере без ее использования, их необходимо сшить. Для этого нужно экспортировать 70 измерений в отдельные файлы, с особым названием, чтобы при их импорте программа программа могла их правильно подключить.

После сшивания 70 измерений экспортируются и загружаются в XMachina для подбора пассивного кроссовера. Задаются списки компонентов, которые могут использовать в фильтре, и целевая функция для АЧХ на оси и для графика мощности звука стандарта CTA-2034-A. Задается время работы, за которое программа должна подобрать кроссовер, и настройки приоритетов, вроде, близости результата к целевой функции против простоты схемы. Программа требует хорошей настройки приоритетов и большого количества попыток для получения хорошего дизайна кроссовера. Нет удобной функции экспорта полученной схемы кроссовера. Для дальнейшей работы кроссовер воссоздается в VituixCAD.

Этап 5 – оптимизация

Были проверены АЧХ на оси и количество нелинейных искажений. Результаты соответствовали поставленным целям. Была попытка добавить дополнительную эквализацию. При упрощенном слепом тестировании не было замечено существенного различия.

Заключение

На основе анализа программных решений для разработки АС, а также исходя из опыта их использования, было выявлено, что имеет смысл развития нового программного продукта, закрывающего недостатки представленных в обзоре и предоставляющих отечественным разработчикам качественный функционал и техническую поддержку предлагаемого продукта.

Если рассматривать глобальное покрытие этапов, то на этапе разработки кроссовера есть незанятые ниши. Существует ПО для симуляции работы кроссовера, но нет для подбора оптимальной схемы. Поддержка и разработка существующего ПО прекращена. Также есть потенциал в разработке ПО для параметрической оптимизации дизайна корпуса и оптимизации по нескольким этапам одновременно.

Также можно выделить большое количество QoL (Quality of Life – «удобства для использования»), вроде хранения измерений, импорта, экспорта, автоматизации измерений и т.д., которые должны учитываться при разработке. В настоящее время авторами настоящей статьи ведется разработка комплексного стенда для измерения характеристик существующих и вновь разрабатываемых АС, в основе которой, в частности, лежит анализ программных решений, представленный здесь.

Список литературы

1. REW room acoustics measurement and analysis [Электронный ресурс]. – URL: https://www.roomeqwizard.com/ (дата обращения: 19.08.2026).

2. VituixCAD Loudspeaker simulator [Электронный ресурс]. – URL: https://kimmosaunisto.net/ (дата обращения: 19.08.2026).

3. XMachina [Электронный ресурс]. – URL: https://xmachina-ai.blogspot.com/ (дата обращения: 19.08.2026).

УДК 004.89:005.94

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ

Еремеев М.С., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-1200-4476

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS OF ENTERPRISES AS A FACTOR FOR IMPROVING THE MANAGEMENT OF BUSINESS PROCESSES

Eremeev M.S., Master's student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-1200-4476

Аннотация

Развитие корпоративных информационных систем постепенно смещает акцент с автоматизации отдельных операций на поддержку принятия управленческих решений. Традиционная система преимущественно фиксирует события и предоставляет пользователю данные, тогда как интеллектуализированная система способна выявлять закономерности, прогнозировать состояние процесса, обнаруживать отклонения и формировать рекомендации. В статье рассматривается подход к интеллектуализации информационных систем предприятий с позиции управления бизнес-процессами. Цель исследования заключается в определении интеллектуальных функций, наиболее значимых для процессного управления, и формировании последовательности их внедрения. Использованы системный и процессный подходы, анализ научных публикаций, сравнительный анализ и модельный расчёт. Предложена функциональная модель, включающая сбор и подготовку данных, аналитический модуль, прогнозирование, формирование рекомендаций и обратную связь. Показано, что наибольший эффект возникает при включении интеллектуальных функций непосредственно в цикл выполнения бизнес-процесса, а не при использовании искусственного интеллекта как отдельного аналитического инструмента.

Ключевые слова: информационная система, интеллектуализация, искусственный интеллект, бизнес-процесс, цифровая трансформация, машинное обучение, прогнозирование, поддержка принятия решений, BPM, цифровая индустрия 4.0

Abstract

The development of enterprise information systems is gradually shifting the focus from automation of individual operations toward decision support. A traditional system mainly records events and provides data to users, while an intelligent system can identify patterns, predict process states, de-

tect deviations, and generate recommendations. This paper considers an approach to intelligentization of enterprise information systems from the perspective of business process management. The purpose of the study is to identify intelligent functions that are most relevant to process management and to develop a sequence for their implementation. The study applies systems and process approaches, literature analysis, comparative analysis, and a model-based assessment. A functional model is proposed that includes data collection and preparation, analytics, prediction, recommendation generation, and feedback. The results indicate that the greatest effect can be achieved when intelligent functions are integrated directly into the business process rather than used as an isolated analytical tool.

Keywords: information system, intelligentization, artificial intelligence, business process, digital transformation, machine learning, forecasting, decision support, BPM, Digital Industry 4.0

Введение

Цифровая трансформация предприятий постепенно меняет представление о роли информационных систем в управлении. Если на ранних этапах автоматизации основной задачей корпоративного программного обеспечения были хранение данных, расчёты и сокращение ручного ввода, то сегодня система всё чаще должна помогать пользователю принимать решения.

Это особенно заметно в управлении бизнес-процессами. Предприятие ежедневно формирует большой объём цифровых данных: заявки, заказы, документы, результаты согласований, сведения о поставках, финансовые операции и действия пользователей. Однако наличие данных ещё не означает их эффективного использования. Система может хранить историю тысяч операций, но руководитель узнаёт о проблеме только после того, как она уже возникла.

Развитие искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет изменить эту ситуацию. Такие методы применяются для прогнозирования, поддержки принятия решений, обнаружения закономерностей и совершенствования бизнес-процессов [1–3]. При этом само наличие модели машинного обучения ещё не означает интеллектуализации. Если прогноз формируется в отдельной аналитической среде и не связан с рабочим процессом, сотруднику приходится самостоятельно интерпретировать результат и решать, что с ним делать.

Поэтому в работе интеллектуализация рассматривается не как добавление отдельного алгоритма к информационной системе, а как изменение механизма взаимодействия между данными, аналитикой и управленческим действием.

Цель исследования – разработать подход к интеллектуализации информационной системы предприятия, ориентированный на повышение эффективности управления бизнес-процессами.

Для достижения цели необходимо:

– определить отличие интеллектуализированной системы от традиционной;
– выделить основные интеллектуальные функции;
– сформировать функциональную модель;
– определить последовательность внедрения;
– оценить потенциальный эффект применения подхода на модельном процессе.

Объект исследования – информационные системы предприятий.

Предмет исследования – методы интеллектуализации информационных систем для повышения эффективности управления бизнес-процессами.

В работе использованы системный и процессный подходы, анализ научных публикаций, функциональное моделирование, сравнительный анализ и модельный расчёт.

1. От автоматизированной информационной системы к интеллектуальной

Корпоративная информационная система традиционно выполняет функции сбора, хранения, обработки и предоставления информации. Пользователь вводит данные, система сохраняет их и выполняет заданные алгоритмы. Такой подход остаётся основой цифровой ин-

фраструктуры предприятия, однако при росте объёма данных становится важным не только наличие информации, но и способность использовать её непосредственно в управлении.

Предположим, что система содержит сведения о заявках на закупку, поставщиках, стоимости материалов, сроках поставки и продолжительности согласования. Руководитель может получить отчёт о количестве выполненных заявок и средней длительности процесса. Но для оперативного управления нужны ответы на другие вопросы: какая заявка с высокой вероятностью будет задержана; где возникает перегрузка; какой поставщик чаще нарушает сроки; какие действия стоит предпринять до возникновения проблемы.

Отсюда можно выделить три уровня информационной поддержки бизнес-процесса.

Таблица 1

Уровни информационной поддержки бизнес-процесса

Уровень	Основная функция	Управленческий вопрос
Регистрационный	Фиксация событий	Что произошло?
Аналитический	Анализ данных	Почему это произошло?
Интеллектуальный	Прогноз и рекомендации	Что может произойти и что целесообразно сделать?

Эти уровни не исключают друг друга. Интеллектуальная система также должна регистрировать события и предоставлять аналитические данные. Более того, качество интеллектуальной функции зависит от качества информации, сформированной на предыдущих этапах.

Следовательно, интеллектуализация представляет собой развитие возможностей существующей системы. Dumas и соавторы рассматривают AI-augmented Business Process Management Systems как направление, в котором искусственный интеллект используется для повышения адаптивности и проактивности выполнения процессов [4].

2. Интеллектуальные функции в управлении бизнес-процессами

Для предприятия важно не просто найти применение AI, а связать конкретную технологию с управленческой задачей. Наиболее значимыми являются пять групп функций.

2.1. Прогнозирование

Прогнозная аналитика позволяет оценить вероятность будущего события на основе истории процесса. Система может прогнозировать задержку заказа, нарушение срока поставки, увеличение длительности согласования, дефицит материала или возврат заявки на доработку. Главное преимущество заключается в изменении момента принятия решения. При традиционном подходе управление начинается после возникновения проблемы, а прогнозный подход позволяет предупредить сотрудника заранее. Таким образом, управление становится проактивным. Прогнозирование относится к наиболее распространённым направлениям применения машинного обучения в BPM [1; 3].

2.2. Обнаружение отклонений

Вторая функция – автоматическое выявление нетипичного поведения. Если большинство заявок проходит определённый этап за несколько часов, а одна остаётся там значительно дольше, система может сформировать предупреждение.

Само отклонение не обязательно означает ошибку: причиной могут быть отсутствие документа, дополнительное согласование или внешнее событие. Поэтому интеллектуальная система должна учитывать контекст. Такой подход связан с process mining, где данные о фактическом выполнении операций используются для анализа поведения процессов [5].

2.3. Классификация и маршрутизация

Машинное обучение может применяться для распределения объектов по категориям. Например, обращения клиентов можно классифицировать по тематике и направлять соответ-

ствующему специалисту, а заявки на закупку – распределять по приоритету. Это сокращает число ручных действий и ускоряет передачу информации между участниками процесса.

2.4. Формирование рекомендаций

Следующим уровнем является переход от выявления проблемы к предложению возможного действия. Вместо сообщения «срок обработки заявки превышен» система может указать: «заявка имеет высокий риск задержки; основной фактор – отсутствие финансового согласования; рекомендуется проверить его статус».

В этом случае система уже не просто отображает состояние процесса, а помогает пользователю определить дальнейшее действие. Исследования prescriptive process monitoring показывают возможность формирования рекомендаций по вмешательству непосредственно во время выполнения процесса [6].

3. Функциональная модель интеллектуализированной информационной системы

Интеллектуализированную систему целесообразно рассматривать как несколько взаимосвязанных контуров.

Интеллектуализированная система включает источники данных, контур их подготовки, аналитический модуль, блок прогнозирования и рекомендаций, а также механизм обратной связи. Результат анализа должен попадать непосредственно в бизнес-процесс в форме уведомления, изменения приоритета, дополнительной проверки или рекомендации пользователю.

Таким образом, формируется последовательность:

данные → подготовка → анализ → прогноз → рекомендация → действие → результат → новые данные.

Именно обратная связь отличает такой подход от отдельного аналитического сервиса. При этом полная автономность не является обязательной. Для значимых решений может сохраняться подтверждение со стороны сотрудника [4].

4. Последовательность интеллектуализации бизнес-процесса

Внедрение интеллектуальных функций целесообразно проводить поэтапно: определение проблемного участка, анализ и подготовка данных, выбор интеллектуальной функции, пилотирование, интеграция и оценка результата. Такой порядок позволяет сначала определить управленческую задачу и только после этого выбирать технологическое решение.

Таким образом, логика должна быть обратной распространённому подходу: сначала определяется проблема, затем данные и метод, после чего создаётся модель и организуется её интеграция.

5. Модельный пример применения интеллектуальной функции

Для демонстрации рассмотрим процесс обработки заявок на закупку материальных ресурсов. Предположим, что предприятие располагает историей из 5 000 заявок. Для каждой известны дата создания, подразделение, категория материала, стоимость, количество согласований, длительность обработки, поставщик и итоговый статус.

Проблемой является задержка части заявок. При традиционном подходе руководитель получает информацию о нарушении срока уже после его возникновения. Предлагается использовать модель прогнозирования риска задержки.

В качестве признаков могут использоваться стоимость заявки, категория материала, подразделение-инициатор, количество согласований, текущая длительность обработки, история работы с поставщиком и число возвратов на доработку.

Результатом модели является вероятность задержки. Например, значение 0,82 означает повышенный риск, но не гарантирует наступление события. Оно используется как основание для дополнительного внимания сотрудника.

Рассмотрим условный сценарий. За месяц предприятие обрабатывает 1 000 заявок, из которых 100 завершаются с нарушением срока. Предположим, система заранее выявляет 70 потенциально проблемных заявок, а своевременное вмешательство предотвращает задержку в 60 % случаев.

Количество предотвращённых задержек:

$$N = 70 \times 0{,}6 = 42. \quad (1)$$

Относительное сокращение задержек:

$$R = \frac{42}{100} \times 100\% = 42\%. \quad (2)$$

Полученные значения являются модельным расчётом и не характеризуют конкретное предприятие. Они показывают механизм формирования эффекта: до внедрения сотрудник реагирует на уже возникшую проблему, после внедрения получает информацию о вероятном отклонении заранее.

6. Оценка эффективности интеллектуализации

Эффективность следует оценивать не только по качеству самой модели, но и по изменению характеристик бизнес-процесса. Можно выделить четыре группы показателей:

– операционные – длительность процесса, время ожидания, количество операций;

– качественные – ошибки, возвраты и нарушения;

– управленческие – время реакции и количество предотвращённых отклонений;

– экономические – трудозатраты, стоимость обработки и экономический эффект.

Для показателей, снижение которых означает улучшение результата, относительное изменение можно определить как:

$$E = \frac{X_{\text{до}} - X_{\text{после}}}{X_{\text{до}}} \times 100\%, \quad (3)$$

где $X_{\text{до}}$ – значение показателя до внедрения, $X_{\text{после}}$ – значение после внедрения.

Для показателей, рост которых является положительным результатом, направление расчёта изменяется.

Важно, что техническая точность модели сама по себе не является достаточным критерием. Высокая точность классификации не гарантирует улучшения процесса, если результат всё равно приходится вручную проверять и переносить в другую систему. Поэтому основным критерием должна оставаться фактическая динамика бизнес-процесса.

7. Ограничения и риски

Интеллектуализация создаёт новые возможности, но сопровождается рисками. Первый связан с качеством данных. Если историческая информация содержит систематические ошибки, модель может воспроизводить их. Поэтому подготовка данных является содержательной частью проекта.

Второй связан с изменением процесса. Модель обучается на исторических условиях. После изменения маршрутов, правил или структуры подразделений её точность может снизиться.

Третий риск – чрезмерное доверие пользователя к рекомендации. Если сотрудник воспринимает прогноз как безусловно правильный, ошибка алгоритма может перейти непосредственно в управленческое решение. В критичных процессах целесообразно сохранять человеческий контроль.

Отдельное значение имеет объяснимость. Пользователю важно понимать не только итоговый прогноз, но и основные факторы, повлиявшие на него. NIST рассматривает надёжность, безопасность, прозрачность и объяснимость как важные характеристики заслуживающих доверия AI-систем [7]. Для генеративного AI разработан отдельный профиль управления рисками [8]. В контексте BPM также подчёркивается необходимость контрольных точек и возможности аудита решений [9].

Следовательно, интеллектуализация должна сопровождаться правилами использования моделей, контролем качества данных и распределением ответственности между системой и сотрудником.

8. Обсуждение результатов

Отсюда следует основной принцип: интеллектуальный алгоритм следует использовать там, где он способен решить управленческую задачу эффективнее существующей процедуры.

Перспективным становится переход к системам, в которых данные, аналитическая модель и управленческое действие объединены в единый контур:

система анализирует → прогнозирует → формирует рекомендацию → человек принимает решение → система фиксирует результат.

Заключение

В работе рассмотрена интеллектуализация информационных систем предприятий как направление развития цифрового управления бизнес-процессами. Показано, что традиционная система преимущественно фиксирует и предоставляет данные, тогда как интеллектуализированная система может использовать накопленную информацию для прогнозирования, обнаружения отклонений, классификации и формирования рекомендаций.

Выделены пять групп интеллектуальных функций: прогнозирование, обнаружение отклонений, классификация и маршрутизация, формирование рекомендаций и обработка неструктурированных данных. Предложена функциональная модель, включающая источники данных, их подготовку, аналитический модуль, прогнозно-рекомендательный контур, управленческое действие и обратную связь.

Сформирована последовательность интеллектуализации бизнес-процесса: определение проблемного участка, анализ данных, подготовка информации, выбор интеллектуальной функции, пилотирование, интеграция и оценка результата.

На модельном процессе закупочных заявок показано, каким образом прогнозирование риска задержки может изменить характер управления. При заданных предпосылках условный расчёт даёт возможность предотвратить 42 из 100 задержек. Данное значение является демонстрационным и не является результатом исследования конкретного предприятия.

Основной вывод состоит в том, что интеллектуализация должна рассматриваться не как самостоятельное внедрение искусственного интеллекта, а как изменение механизма управления бизнес-процессом. Наибольший эффект возникает, когда результат интеллектуального анализа непосредственно включён в принятие решения и сопровождается обратной связью.

Практическая значимость подхода заключается в возможности поэтапного внедрения интеллектуальных функций без необходимости сразу преобразовывать всю информационную инфраструктуру предприятия. Перспективным направлением дальнейшей работы является апробация подхода на фактических данных предприятий и разработка системы показателей, позволяющей одновременно оценивать качество модели и её влияние на время, стоимость и качество бизнес-процессов.

Список литературы

1. Weinzierl S., Zilker S., Dunzer S., Matzner M. Machine learning in business process management: A systematic literature review // Expert Systems with Applications. 2024. Vol. 253. Article 124181. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.124181.

2. Fettke P., Di Francescomarino C. Business Process Management and Artificial Intelligence: Literature Survey and Future Research // Künstliche Intelligenz. 2025. Vol. 39. P. 67–79. DOI: 10.1007/s13218-025-00891-y.

3. Gomes P., Verçosa L., Melo F., Bastos Filho C. Artificial Intelligence-Based Methods for Business Processes: A Systematic Literature Review // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, № 5. Article 2314. DOI: 10.3390/app12052314.

4. Dumas M., Fournier F., Limonad L., Marrella A., Montali M., Rehse J., Accorsi R., Calvanese D., De Giacomo G., Fahland D., Gal A., La Rosa M., Völzer H., Weber I. AI-Augmented Business Process Management Systems: A Research Manifesto // ACM Transactions on Management Information Systems. 2023. Vol. 14, № 1. DOI: 10.1145/3576047.

5. van der Aalst W.M.P. Process Mining: Data Science in Action. 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer, 2016. 467 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4.

6. Outcome-Oriented Prescriptive Process Monitoring based on Temporal Logic Patterns // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2023. Vol. 126. Article 106899. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.106899.

7. Tabassi E. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2023. DOI: 10.6028/NIST.AI.100-1.

8. Autio C., Schwartz R., Dunietz J., Jain A., Stanley A., Tabassi E., Hall P., Roberts B. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2024. DOI: 10.6028/NIST.AI.600-1.

9. Pisoni G., Moloney M. Responsible AI-Based Business Process Management and Improvement // Digital Society. 2024. Vol. 3. Article 23. DOI: 10.1007/s44206-024-00105-2.

10. Zebec A., Indihar Štemberger M. Creating AI business value through BPM capabilities // Business Process Management Journal. 2024. Vol. 30, № 8. P. 1–26. DOI: 10.1108/BPMJ-07-2023-0566.

УДК 004.42:532.5

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ FLUENTPOSTPROC ДЛЯ ПОСТОБРАБОТКИ ЗАДАЧ ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

Зиганшин А.М., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии в строительстве» ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», профессор Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0001-7335-7797;
E-mail: amziganshin@kgasu.ru;
Барышева О.Б., к.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-5014-7540;
E-mail: obbars@gmail.com;
Хайдаров Р.Р., студент кафедры «Информационные системы и технологии в строительстве», ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0000-2147-6479;
E-mail: ranelhaidarov@gmail.com

DEVELOPMENT OF THE FLUENTPOSTPROC APPLICATION FOR POST-PROCESSING OF SEPARATE FLOW PROBLEMS FOR A VENTILATION SYSTEMS

Ziganshin A.M., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies in Construction, Kazan State University of Architecture and Engineering, Professor of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0001-7335-7797;
E-mail: amziganshin@kgasu.ru;

Barysheva O.B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-5014-7540;
E-mail: obbars@gmail.com;
Khaidarov R.R., Student of the Department of Information Systems and Technologies in Construction, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0000-2147-6479;
E-mail: ranelhaidarov@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена разработке приложения FluentPostProc, предназначенного для постобработки результатов двумерного численного моделирования отрывных течений в элементах систем вентиляции, выполненного в ANSYS Fluent 6.3. Актуальность работы связана с необходимостью воспроизводимого извлечения, визуализации и инженерного использования расчетных данных, полученных в ранней версии Fluent, где имеется возможность выполнять основные операции через текстовые команды, журналы, transcript-файлы и экспортированные таблицы и таким образом специфицировать операции постпроцессинга. Целью разработки являлось создание проектной оболочки, объединяющей загрузку расчетных данных, извлечение геометрии границ, импорт полей величин, построение линий тока и очертаний вихревых зон, анализ полей по произвольным контурам и экспорт результатов в форматы CSV и DXF. В приложении реализована автоматическая генерация TUI-журналов Fluent, сохранение промежуточных артефактов проекта, кэширование импортированных полей, создание синтетического поля площади ячеек и расчет интегральных характеристик по выбранным областям. Отдельно разработан режим автоматического поиска очертания вихревой зоны с заданной точностью по функции тока, основанный на построении пары замкнутой и незамкнутой изолиний и последующем уточнении границы методом бисекции. Для передачи результатов в CAD-среды реализован DXF-экспорт с сохранением исходных точек, разреженных полилиний и сглаженных сплайнов. Исследовательская часть работы связана с диагностикой ограничений Fluent 6.3, включая сбой GENERAL-CAR-CDR при экспорте отдельных границ. Для таких случаев предложен режим «Plan B», выполняющий по-зонное извлечение геометрии и сохраняющий частично доступные данные вместо полного отказа создания проекта. Разработанное приложение повышает воспроизводимость постобработки, снижает объем ручных операций и обеспечивает подготовку данных для анализа и последующего инженерного моделирования вентиляционных элементов.

Ключевые слова: ANSYS Fluent 6.3, постобработка CFD, отрывное течение, системы вентиляции, функция тока, вихревые зоны, TUI-журналы, DXF-экспорт, автоматизация расчетов, инженерная визуализация

Abstract

This article describes the development of the FluentPostProc application, designed for postprocessing the results of a two-dimensional numerical simulation of separated flows in ventilation system elements, studied in ANSYS Fluent 6.3. The relevance of the work is related to the need for reproducible extraction, visualization and engineering use of calculated data obtained in the early version of Fluent, where it is possible to perform basic operations through text commands, logs, transcript files and exported tables and thus specify post-processing operations. The goal of the development was to create a project framework that integrates computational data loading, boundary geometry extraction, quantity field import, streamline and vortex zone delineation, field analysis along arbitrary contours, and results export to CSV and DXF formats. The application automatically generates Fluent TUI logs, saves intermediate project artifacts, caches imported fields, creates a synthetic cell area field, and calculates integral characteristics for selected regions. A separate mode for automatically searching for

vortex zone outlines with a specified accuracy based on the stream function was developed. This mode is based on constructing a pair of closed and open isolines and then refining the boundary using the bisection method. To transfer results to CAD environments, DXF export was implemented, preserving source points, sparse polylines, and smoothed splines. The research portion of the work focused on diagnosing Fluent 6.3 limitations, including a GENERAL-CAR-CDR crash when exporting individual boundaries. For such cases, the "Plan B" mode was proposed, which performs zone-by-zone geometry extraction and preserves partially accessible data instead of completely abandoning project creation. The developed application improves post-processing reproducibility, reduces the amount of manual operations, and ensures data preparation for analysis and subsequent engineering modeling of ventilation elements.

Keywords: ANSYS Fluent 6.3; CFD postprocessing; separated flow; ventilation systems; stream function; vortex zones; TUI logs; DXF export; calculation automation; engineering visualization

Введение

Разработка приложения FluentPostProc является частью работ по созданию вспомогательных инструментов для постобработки гидродинамических расчетов, выполняемых в комплексе вычислительной гидродинамики Fluent. Функционал приложения специфицирован для обработки задач двумерного моделирования отрывного течения в элементах систем вентиляции, с целью разработки усовершенствованных энергоэффективных элементов нового поколения [1-3]. В современной практике интеграции расчетных комплексов вычислительной гидродинамики есть несколько направлений: автоматизация Fluent через текстовые команды и скрипты, интеграция с другими программами, построение упрощенных моделей и создание пользовательских интерфейсов для обработки результатов. Основным в таких системах является не решатель (Fluent), а возможность управлять им, забирать данные, получаемые решателем, обрабатывать, сохранять и экспортировать их в форматах удобных для дальнейшего использования – построения численных моделей усовершенствованных элементов, подготовки материалов для визуализации особенностей течения. Этот функционал реализован в FluentPostProc.

Переход от ручных операций через графический интерфейс к сценариям снижает трудоемкость и повышает воспроизводимость расчетов [4-7]. Применение текстового интерфейса Fluent для подготовки и обработки расчетов экспериментальных устройств рассматривается в работе [4]. Код на Python для автоматизации повторяющихся расчетов в Ansys Fluent описан в работе [5], с сокращением времени выполнения серий без изменения точности результатов. Связка ANSYS Fluent с Python, Jupyter Notebook и PyFluent для итерационных расчетов, подключения пользовательских функций (UDF) и сохранения результатов показана в исследовании [6]. Особенно близка по архитектурной идее программа CFDTwin [7]. Это открытый инструмент с графическим интерфейсом и набором функций на Python для работы с ANSYS Fluent. В нем объединены выбор параметров, автоматический запуск Fluent, извлечение данных, обучение упрощенных моделей (методом POD-NN) и анализ результатов.

Другие исследования расширяют контекст интеграции Fluent с внешними расчетными приложениями. Решатель FLUENT используется совместно с программой EnergyPlus для расчета теплового комфорта в большом офисном пространстве [8]: в решателе вычисляются поля температуры и специальный показатель комфорта (PMV) с использованием пользовательских функций (UDF), и далее результаты передаются в энергетическую модель здания. Быстрый интерактивный анализ на основе ANSYS Fluent с применением метода деформации сетки (RBF) и упрощенных моделей (ROM) показан в работе [9], где вычислительно тяжелый расчет превращается в инструмент для работы в реальном времени. В работе [10] формализуется процесс, в котором Fluent используется для расчета, а ParaView – для автоматизированной постобработки.

Несмотря на наличие современных версий расчетного комплекса, последняя отдельная версия Fluent 6.3 имеет легкий вес, большой функционал, в том числе с доступом к пользовательским функциям, мультиплатформенная и поэтому пользуется популярностью при решении многих гидродинамических задач. Поэтому важным является создание специализированного интерфейса для постпроцессинга исследовательских задач и FluentPostProc рассматривается как прикладной постпроцессор для условий, где современные API недоступны, а стандартные экспортные операции Fluent могут быть нестабильны. В нем текстовые команды (TUI-журналы), сохранение промежуточных файлов, визуализация вихревых зон (ВЗ) и полей расчетных величин, расчет осредненных величин по произвольным контурам, экспорт визуализированных данных в удобный векторный формат DXF, а расчетных – в формат CSV, объединены в единый проектный цикл.

Результаты численного моделирования в вычислительной гидродинамике становятся практически применимыми только после постобработки: необходимо увидеть геометрию области, сопоставить поля с расчетной сеткой, выделить характерные зоны течения и передать данные в инженерную графику. В современных CAE-системах такая задача часто решается через программные интерфейсы (API). Однако в проектных и исследовательских архивах сохраняются модели, созданные в более ранних версиях расчетных пакетов, зачастую использование такого программного обеспечения позволяет для исследователей сэкономить вычислительный ресурс и продолжают использоваться наряду с современными версиями. В этих условиях значимым становится не только сам расчет, но и воспроизводимый способ извлечения результатов из такого программного окружения.

Одним из таких случаев является ANSYS Fluent 6.3. Эта версия поддерживает развитый текстовый интерфейс для обеспечения интеграции, но не предоставляет удобного современного API для всех операций, необходимых при прикладной постобработке. Извлечение геометрии, полей и поверхностей выполняется через текстовые команды (TUI), журналы, протоколы сеанса (transcript) и экспортированные таблицы. Такой подход чувствителен к последовательности команд, состоянию загруженного файла с сеткой и результатами (case/data) и внутреннему устройству сетки.

В прикладной задаче, послужившей основой разработки, требовалось не просто отобразить отдельное поле, а создать проектную оболочку, сохраняющую артефакты расчета: геометрию границ, вихревые зоны (ВЗ), поля величин, вспомогательные линии, контуры анализа, параметры экспорта и журналы диагностики. Дополнительно требовалась передача результатов в формат DXF (универсальный формат чертежей для CAD-программ) с управляемым прореживанием полилиний и сохранением возможности проверки площадей и интегралов в Fluent.

Задача работы – описание разработки приложения FluentPostProc и исследование программных решений, обеспечивших устойчивую постобработку данных Fluent 6.3 в условиях ограниченного доступа к геометрии и полям расчетной модели.

Научно-практический вклад состоит в формализации инженерного рабочего процесса для устаревшей среды: показаны работающие способы, диагностированы неработающие варианты и предложен режим частичного восстановления геометрии при сбоях Fluent.

Методика

Приложение реализовано как настольная программа с графическим интерфейсом с использованием библиотеки Tkinter. Внутреннее устройство приложения разделено на несколько частей: внешний вид – то, что видит пользователь; логика работы – как приложение обрабатывает данные; способы связи с Fluent; управление проектами и хранение результатов. Такое разделение необходимо, чтобы сбои в Fluent не ломали всю программу – если одна часть «упала», то остальные продолжают работать.

Потоки данных и управляющих команд в FluentPostProc приведены на рис. 1.

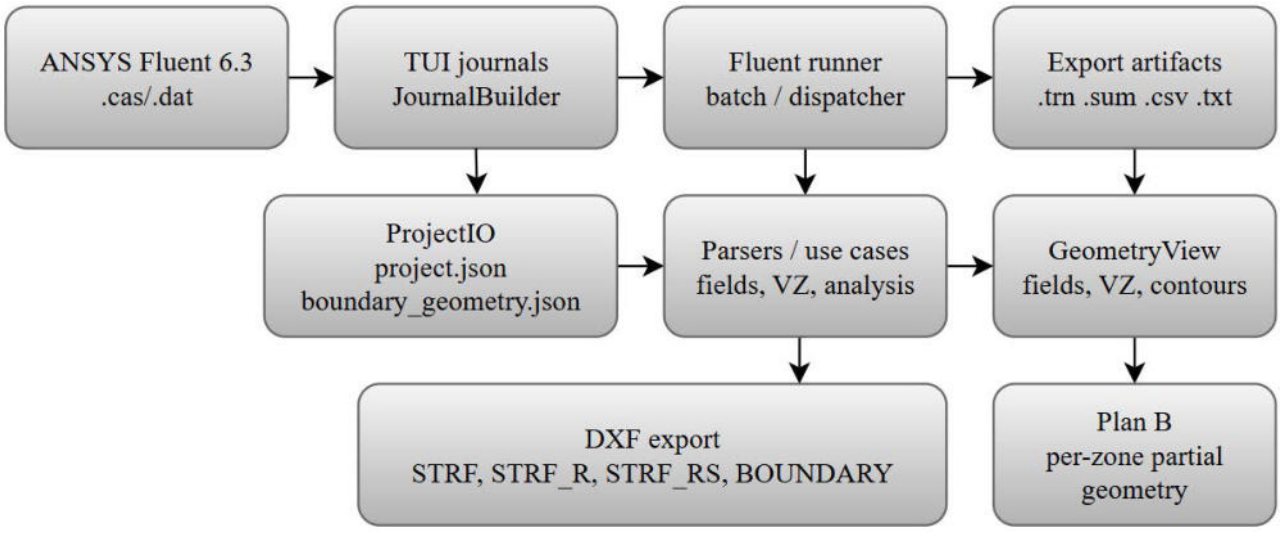


Рис. 1. Архитектура приложения FluentPostProc и поток данных между решателем (Fluent), парсерами, проектом, визуализацией и экспортом

Проект начинается с двух файлов: .cas (сетка и настройки) и .dat (результаты расчета). Для каждого проекта программа создает несколько файлов. Главный файл project.json – здесь хранится описание проекта. Файл boundary_geometry.json – геометрия всех границ. Отчет по границам сохраняется в report.sum. Его структурированная версия – в report_summary.json. Также программа создает отдельные папки для вихревых зон и для полей. Версия самой программы записывается в проект. Это сделано для того, чтобы если через год открыть старый проект в новой версии программы, данные можно было пересобрать без потерь данных. Такое происходит при разработке и обновлениях программы, в том числе, когда поменялись форматы хранения геометрии и полей и старые проекты смогли быть открыты и обновлены.

Для взаимодействия с Fluent программа сама создает текстовые файлы с командами. Эти файлы называются TUI-журналами. В них записаны инструкции для Fluent: загрузить файлы, сделать отчет, выгрузить поля, создать вспомогательные поверхности, сохранить изменения и выгрузить данные в текстовом формате. За правильную последовательность команд отвечает специальный модуль. Если задача долгая, программа запускает Fluent в фоновом режиме. Если нужно быстро проверить что-то – запускается короткий сеанс. При этом для ускорения работы с файлами, которые обычно имеют большой размер, команды передаются в один раз открытый сеанс решателя.

Геометрия границ берется из отчета report_summary.json. Обычно для этого используется команда /file/export/ascii – она выгружает все границы сразу. Fluent выдает точки с координатами. Программа очищает их от повторяющихся точек, расставляет в правильном порядке и превращает в линии, которые можно нарисовать на экране. Если стандартный способ не сработал – Fluent «упал» или выдал ошибку, программа пытается выгрузить геометрию другим инструментом. Если и это не помогло, тогда включается аварийный режим «Plan B». В этом режиме программа пытается выгрузить каждую границу по отдельности. То, что получилось выгрузить сохраняется, остальное – пропускается.

Для загрузки скалярных полей, например, температуры или давления, программа экспортирует значение поля вместе с площадью каждой ячейки. Это необходимо, чтобы одни и те же данные можно было использовать и для цветной картинки на экране, и для подсчетов, например, чтобы посчитать сумму или среднее значение по площади. При первом успешном импорте программа также создает искусственное поле площадей каждой ячейки, которое появляется в списке полей наравне с обычными полями. Его можно включить как слой и посмотреть на экране. Программа записывает загруженные поля в рабочие файлы, поэтому, при

открытии проекта исходный файл задачи не перечитывается и поле отображается и готово к анализу сразу.

Отдельный функционал реализован для построения линий тока и очертаний вихревых зон по значениям функции тока. Пользователь может строить их тремя способами: вдоль линии, вокруг точки или автоматически. Программа определяет, замкнутая вихревая зона или нет, и запоминает это в специальном свойстве. Пользователь может вручную исправить этот признак в окне свойств. В главном окне есть фильтр, который показывает только замкнутые или только незамкнутые вихревые зоны. Этот фильтр влияет не только на то, что нарисовано на экране, но и на экспорт – можно выгрузить только замкнутые, только незамкнутые или все сразу.

Перед тем как передать данные в CAD-программу, приложение создает DXF-файл. В нем несколько слоев. Исходные очертания линий тока сохраняются точками в слоях с именами STRF_*. Разреженные полилинии – в слоях STRF_R_*. Дополнительный сглаженный сплайн по тем же точкам – в слоях STRF_RS_*. Границы расчетной области сохраняются в слоях BOUNDARY_*. Разрежение делается адаптивно – по длине дуги и кривизне. На прямых участках точек становится меньше, в местах сильного изгиба плотность сохраняется. Это уменьшает размер файла, но позволяет не потерять важные детали.

Результаты и обсуждение

Разработано приложение, которое собирает вместе этапы, раньше выполнявшиеся вручную и по отдельности: запуск команд Fluent, разбор transcript-файлов, чтение экспортированных таблиц, отрисовку геометрии, построение линий тока и очертаний вихревых зон, работу с полями и подготовку DXF. Такая связность важна для повторяемости, т.е. каждый проект хранит не только конечные результаты, но и промежуточные файлы, по которым можно восстановить всю цепочку обработки.

Главное окно программы (рис. 2) объединяет графическую область и панели управления.

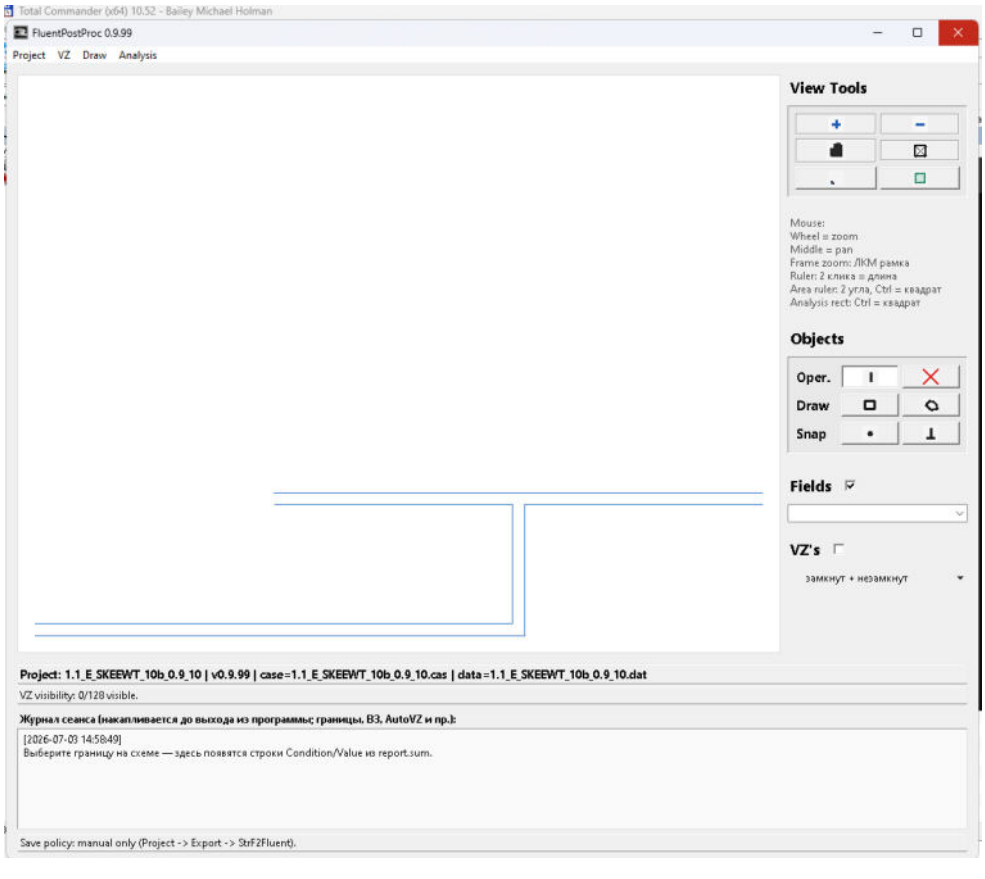


Рис. 2. Главное окно FluentPostProc с графической областью и панелью управления

В графической области (рис. 2) отображаются границы расчетной области, вихревые зоны, вспомогательные линии, контуры анализа и наложенные цветовые поля. Реализован стандартный функционал управления графическим окном – панорамирование, зуммирование пошаговое или по рамке, показать все, показать сетку, привязка к характерным узлам геометрии или сетке. Рисование вспомогательных объектов, получение информации, проведение измерений и удаление этих объектов.

В FluentPostProc поля величин рассматриваются как отдельный проектный слой постобработки, связанный с исходной парой файлов Fluent *.cas и *.dat. Импорт поля выполняется через автоматически сформированный TUI-журнал. На первом этапе приложение получает список доступных ASCII scalar-переменных; этот список сохраняется в проекте в json файле, чтобы при следующих обращениях ускорить выбор поля.

После выбора пользователем нужной величины приложение запускает экспорт поля из Fluent для поверхности default-interior – во всех расчетных ячейках. Для каждого импортированного поля создается отдельная папка внутри проекта. В этой папке сохраняются основные файлы: исходный ASCII-экспорт Fluent, площади ячеек, журнала команд и файлы с представлением поля выбранной величины и площади ячеек.

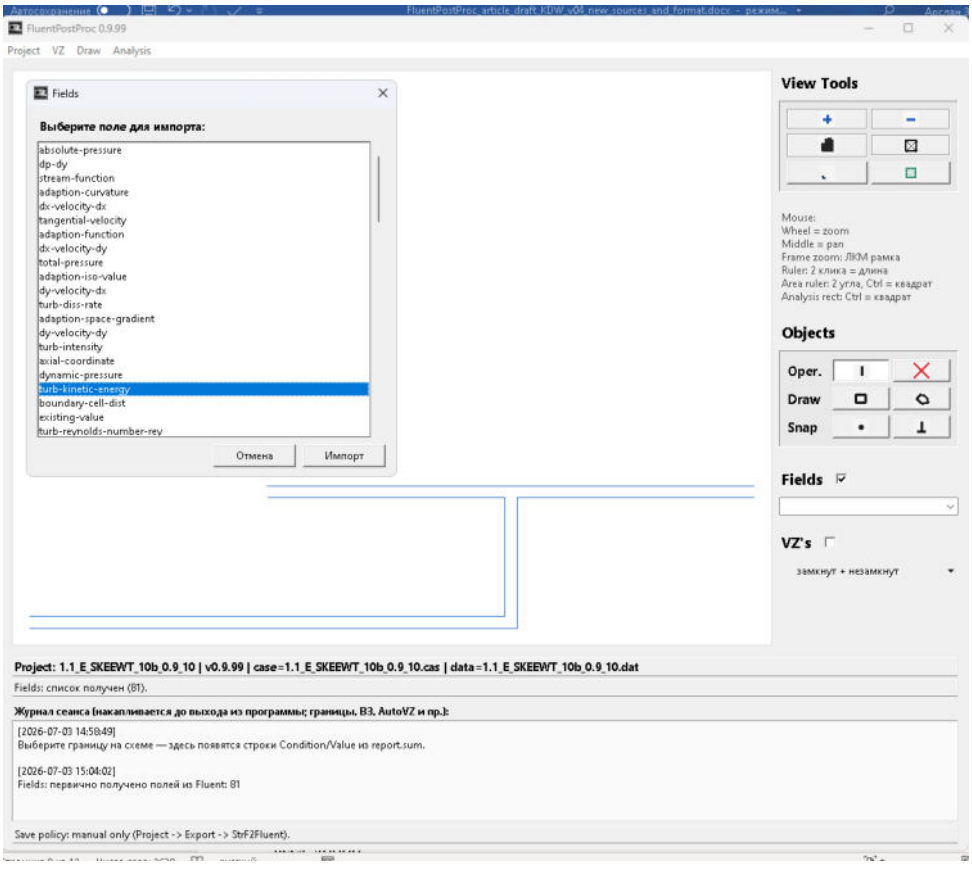
Для графического отображения используется оперативный кэш в главном окне приложения. После чтения файла поля точки помещаются в словарь кэша, где ключом является отображаемое имя поля, а значением – список трех значений – координат и величины поля. При повторном включении уже выбранного поля данные берутся из памяти, а не перечитываются с диска. Если пользователь выключает видимость Fields, overlay скрывается, но точки из кэша не удаляются; поэтому повторное включение происходит быстро. При переимпорте конкретного поля соответствующая запись кэша сбрасывается. Для отрисовки в графическом окне применяется пространственная индексация и экранное прореживание. Это позволяет сохранять пригодность данных для анализа, но не перегружать графическое окно при масштабировании и перемещении вида.

Пример отображения поля турбулентной кинетической энергии вместе с границами расчетной области показан на рис. 3 – общий вид окна с диалогом выбора поля – рис. 3а, поле – рис. 3б и увеличенная часть экрана – рис. 3в.

В программе реализован развитый функционал построения очертаний линий тока, в том числе подсистема определения очертаний вихревых зон (ВЗ), по признаку замкнутости линий тока. Реализован режим автоматического поиска очертания ВЗ с заданной точностью, который основан на том, что в двумерной задаче линии постоянного значения функции тока (ψ) совпадают с линиями тока. Очертание вихревой зоны определяется как предельная замкнутая изолиния функции тока, находящаяся на границе перехода от замкнутых траекторий к незамкнутым. Поэтому задача сводится к поиску такого значения ψ, при котором изолиния ещё остается замкнутой, а ближайшая соседняя по ψ линия уже становится незамкнутой.

Перед началом автоматического поиска ВЗ пользователь задает требуемую точность $\Delta\psi$. Эта величина является критерием остановки алгоритма: уточнение продолжается до тех пор, пока разность между последней найденной замкнутой линией и ближайшей незамкнутой линией не станет меньше или равна заданному $\Delta\psi$. По умолчанию значение точности рассчитывается как процент от максимального модуля функции тока в расчетной области. Для этого приложение один раз на проект запрашивает во Fluent минимум и максимум ψ во всей расчетной области.

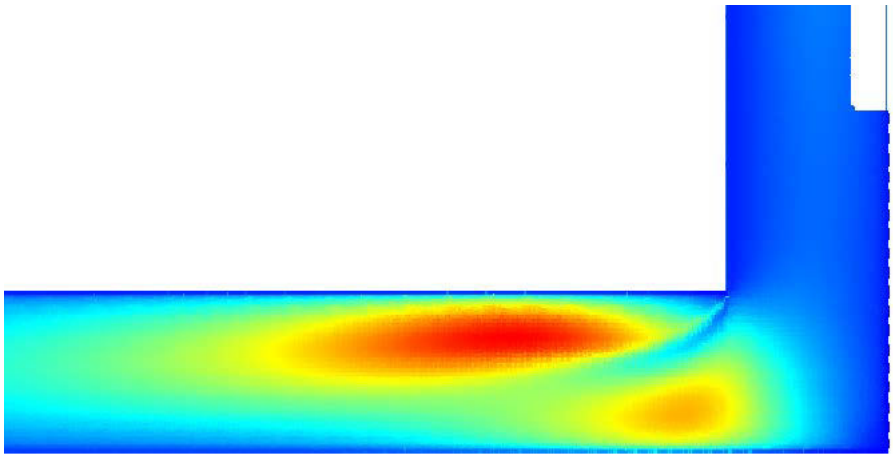
Работа функции начинается с интерактивного выбора пользователем точки в расчетной области. По координатам выбранной точки приложение создает во Fluent временную точку, где определяется значение ψ, для которого строится изолиния и экспортируется для построения в графическом окне программы. Экспорт вариативный в первую очередь проверяется вариант выгрузки в формате Tecplot LINESEG, поскольку он содержит связность сегментов и лучше подходит для восстановления полилиний. Если Tecplot-экспорт не дает пригодного результата, используется резервный ASCII-экспорт с последующим восстановлением полилинии по порядку точек и разбиением на фрагменты.



а



б



в

Рис. 3. Отображение поля турбулентной кинетической энергии:
а) общий вид окна с диалогом выбора поля; б) общий вид поле; в) увеличенная часть поля

Каждая пробная линия классифицируется как замкнутая или незамкнутая. Классификация выполняется по набору экспортированных полилиний. В простом случае проверяется расстояние между начальной и конечной точками фрагмента: если оно меньше допуска, зависящего от размера контура, периметра и характерного шага между соседними точками, линия считается замкнутой. Дополнительно учитывается ситуация, когда Fluent экспортирует одну замкнутую линию несколькими фрагментами. Для этого анализируются расстояния между концом одного фрагмента и началом следующего в порядке экспорта. Если такие «мосты» имеют близкую величину и не содержат явно выделяющегося большого разрыва, набор фрагментов трактуется как один замкнутый контур. Для неоднозначных случаев используется вторичная графовая проверка: точки линии прореживаются, строится локальный граф ближайших соседей, после чего оценивается структура связной компоненты. Компонента без открытых концов интерпретируется как цикл, а компонента с двумя выраженными концами – как открытая цепь.

На первом этапе работы алгоритм поиска ВЗ должен получить две опорные линии: одну замкнутую и одну незамкнутую. Если пользователь выбирает точку, для которой построенная изолиния оказывается замкнутой, она сохраняется как текущая внутренняя опора. Если линия незамкнута, она сохраняется как внешняя опора. До тех пор, пока обе опоры не найдены, программа продолжает запрашивать у пользователя следующие точки. При неудачных пробах, например, если Fluent не смог создать точку определения ψ или вернул вырожденную изолинию менее чем из двух точек, шаг не засчитывается, а пользователь получает предложение выбрать другую точку.

После появления пары «замкнутая – незамкнутая» запускается автоматическое уточнение методом бисекции по значению функции тока.

Пусть имеются две опоры $\psi_{замкн}$ и $\psi_{откр}$, соответствующие последней замкнутой и незамкнутой линиям. Программа упорядочивает интервал по величине ψ, затем строит новую изолинию в середине интервала по значениям ψ. Если новая линия классифицируется как замкнутая, она заменяет замкнутую опору; если незамкнутая – заменяет незамкнутую опору. После каждого шага длина интервала по ψ уменьшается. Процесс повторяется до выполнения условия:

$$|\psi_{замкн} - \psi_{откр}| \leq \Delta\psi$$

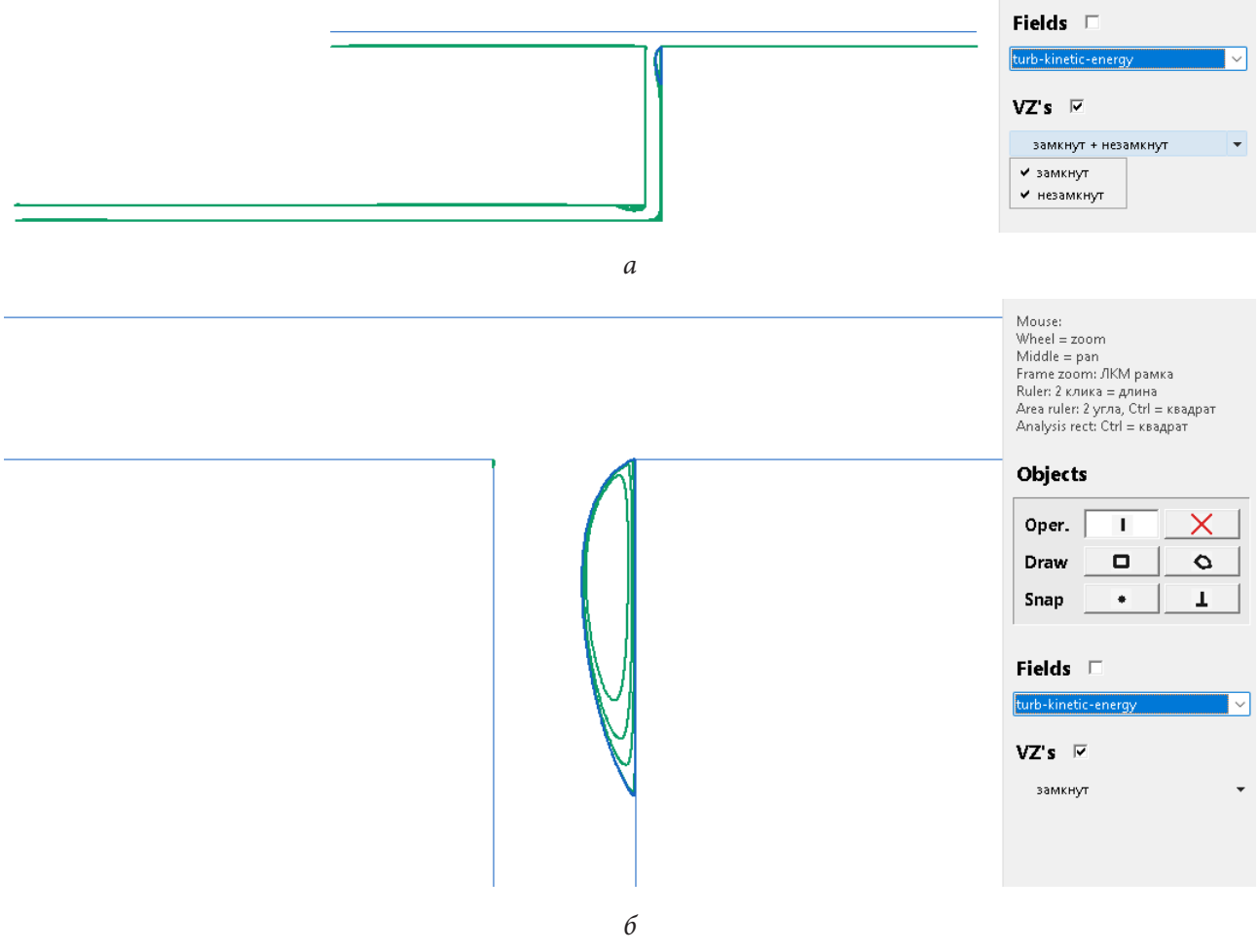
или до достижения предельного числа итераций. В текущей реализации максимальное число итераций ограничено 30, что предотвращает бесконечный цикл при нестабильной классификации или ошибках Fluent.

Каждая пробная и промежуточная линия добавляется на схему, поэтому пользователь видит ход уточнения. Для линии сохраняются имя, значение ψ, координаты контура, список полилиний, признак замкнутости и величина диагностического зазора. В конце алгоритма в качестве результата принимается последняя подтвержденная замкнутая линия из цепочки бисекции. Она дополнительно проверяется классификатором, подсвечивается как итоговое очертание, найденное алгоритмом, и сохраняется в общем списке ВЗ проекта.

Все результаты работа алгоритма записываются в проектную структуру. В рабочих файлах конкретного запуска сохраняются журналы Fluent, transcript-файлы, экспортированные Tecplot/ASCII-файлы и диагностический журнал. Сам список ВЗ хранится в json файл. В нем для каждой линии сохраняются координаты, значение ψ, имя, признак замкнутости и служебные признаки, необходимые для последующего отображения, фильтрации, анализа и DXF-экспорта.

Реализованный функционал хранит все построенные линии в проекте, позволяет разделять одну линию на несколько контуров, поддерживает ручную корректировку признака замкнутости и фильтрацию по этому признаку. Фильтр оказался полезен не только при визуализации, но и при экспорте: в диалог DXF попадают только те ВЗ, которые видны на экране. Пользователь может выгрузить только замкнутые, только незамкнутые или все линии сразу.

На рис. 4а показан результат работы алгоритма поиска ВЗ, и на рис.4б результаты фильтрации.



а

б

Рис. 4. Результаты работы алгоритма поиска очертания ВЗ:
а) общий вид окна; *б)* фильтрация ВЗ по признаку замкнутости

Экспорт в DXF решает задачу передачи данных в CAD-среды с целью дальнейшего использования как для визуализации результатов, так и для создания компьютерной модели усовершенствованных элементов. Поскольку для использования в сеточных препроцессорах исходная плотность точек завышена, был добавлен алгоритм адаптивного прореживания – он удаляет точки на прямых участках и сохраняет плотность в местах изгиба. Чтобы не потерять исходные данные, приложение одновременно сохраняет три представления экспортированных очертаний: исходные точки, соединенные отрезками по разреженным точкам (для генерации расчетной сетки) и сглаженный сплайн по разреженным точкам (для визуализации и использования во внешних программах) (рис. 5). Это позволяет сравнивать контуры без повторного экспорта.

На рис. 5а показана структура DXF-экспорта: слои STRF_* (исходные точки), STRF_R_* (разреженная полилиния), STRF_RS_* (сплайн) и увеличенное изображение участка ВЗ, где видны точки, соединение отрезками по разреженному массиву точек, и сплайн для замкнутого очертания ВЗ.

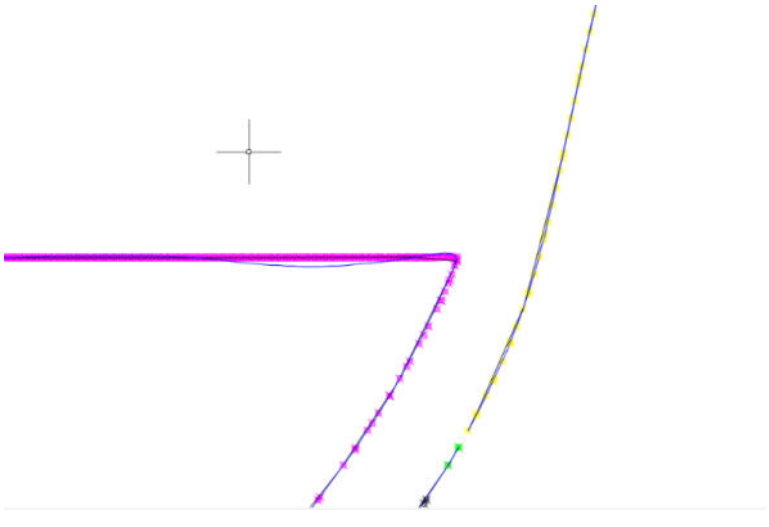
Самая сложная исследовательская часть была связана с ошибкой Fluent GENERAL-CAR-CDR: invalid argument [1]: improper list. Она возникала не как обычный сбой программы, а как внутренний отказ Fluent при обращении к некоторым границам. В проблемных расчетных

файлах процесс завершался с ошибкой при попытках выгрузки почти всех важных границ, хотя твердые стенки (wall) чаще всего выгружались нормально.

Проверено несколько гипотез: влияние .dat-файла, обращение по числовому идентификатору зоны, повторное сохранение case-файла, экспорт в Tecplot, поверхностные интегралы по координатам, внешний извлекатель на основе известных модулей для парсинга с case файлами – PyVista/VTK, прямой доступ через Scheme и интерпретируемый UDF. Ни один из этих способов не дал универсального восстановления полной геометрии.



а



б

Рис. 5. Результаты экспорта в DXF: *а*) по слоям;
б) отображение увеличенной части очертания ВЗ и линии тока

Практическим выходом стал разработанный специальный режим «Plan B». Вместо того, чтобы прерывать создание проекта при первой же ошибке, приложение пытается экспортировать границы по одной зоне, фиксирует успех или неудачу для каждой и сохраняет всю информацию о границах, которую Fluent смог выдать. Для проблемных кейсов это не дает полной геометрии, но вместо пустого проекта пользователь получает частично пригодный проект с диагностическим отчетом – видно, какие границы доступны, а какие нет. Такой компромисс оправдан инженерной логикой: лучше иметь часть данных с четким списком проблем, чем не иметь ничего. И как показала практика для основных сценариев использования было достаточно выгруженных границ – твердых стенок.

Выводы

Разработано приложение FluentPostProc, которое обеспечивает постобработку данных, полученных в результате численного расчета в ANSYS Fluent 6.3. Оно включает создание проекта, извлечение геометрии и отчетов, импорт полей, построение и классификацию линий тока, нахождение очертаний вихревых зон, анализ полей внутри произвольных контуров, возврат линий тока в Fluent и экспорт полных и разреженных линий тока в формат DXF. Все этапы объединены в единую последовательность, что делает обработку данных воспроизводимой и менее трудоемкой по сравнению с ручными операциями.

Установлено, что для используемой более ранней версии Fluent 6.3 устойчивость работы определяется не только алгоритмами визуализации, но и правильной организацией TUI-журналов, последовательностей команд, хранением transcript-файлов и наличием резервных сценариев. Без учета этих факторов даже корректные расчеты могут приводить к потере данных при постобработке.

Исследование ошибки «GENERAL-CAR-CDR» показало, что штатные и альтернативные способы извлечения геометрии имеют ограниченную применимость на отдельных кейсах. Ни один из проверенных вариантов не дал универсального доступа к проблемным границам. Это указывает на необходимость использования обходных стратегий при работе с такими моделями.

Реализованный режим «Plan B» позволяет сохранять частичную геометрию и диагностический отчет вместо полного отказа при создании проекта. Это решение не заменяет полноценный экспорт, но значительно повышает практическую полезность приложения в ситуациях, когда доступ к данным Fluent ограничен или нестабилен.

Перспективные направления развития: проверка компилированных UDF для прямого доступа к координатам узлов и граней, автоматизация проверки интегралов непосредственно в Fluent, а также формирование отчетных документов, включающих скриншоты, параметры экспорта и диагностические журналы. Это позволит сделать постобработку еще более автоматизированной и прозрачной.

Список литературы

1. Kareeva J.R., Ziganshin A.M., Logachev K.I., Narsova K.A. Characteristics of flow in the unit “elbow – supply opening” // Magazine of Civil Engineering. – 2025. – Vol. 18, № 3. – P. 13510. DOI: 10.34910/MCE.135.10.

2. Зиганшин, А. М. Течение в узле «решетка-колено» системы вытяжной вентиляции / А. М. Зиганшин, Ю. Р. Кареева, М. Б. Чухлова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2025. – Т. 72, № 2. – С. 55–64. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/72.5.

3. Кареева, Ю. Р. Течение к боковому вытяжному устройству, расположенному над непроницаемой плоскостью / Ю. Р. Кареева, А. М. Зиганшин, Г. А. Ишутин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Т. 69, № 3. – С. 139–148. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.13, EDN: JAEVCG.

4. Kabdylkakov Y., Surayev A., Irkimbekov R. New approaches to CFD analysis of experimental devices in the Ansys Fluent // AIP Conference Proceedings. – 2024. – Vol. 3020. Art. 040008. DOI: 10.1063/5.0194184.

5. Papkov V. S., Shadymov N., Pashchenko D. CFD-modeling of fluid flow in Ansys Fluent using Python-based code for automation of repeating calculations // International Journal of Modern Physics – P. 2023. DOI: 10.1142/S0129183123501140.

6. Nakase M., Watanabe S., Sano Y., Takeuchi M. A Novel Computational Framework for Extraction Chromatography Calculation: ANSYS Fluent Coupled with Python // Progress in Nuclear Science and Technology. – 2024. – Vol. 8. – P. 209-214. DOI: 10.15669/pnst.8.209.

7. Curl D., Hu H. CFDTwin: An open-source GUI and Python toolkit for POD-NN surrogate modeling of ANSYS Fluent simulations // arXiv. 2026. DOI: 10.48550/arXiv.2605.27725.

8. Shan X., Luo N., Sun K., Hong T., Lee Y.-K., Lu W.-Z. Coupling CFD and building energy modelling to optimize the operation of a large open office space for occupant comfort // Sustainable Cities and Society. – 2020. – Vol. 60. Art. 102257. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102257.

9. Biancolini M. E., Capellini K., Costa E., Groth C., Celi S. Fast interactive CFD evaluation of hemodynamics assisted by RBF mesh morphing and reduced order models: the case of aTAA modelling // International Journal on Interactive Design and Manufacturing. – 2020. – Vol. 14. – P. 1227-1238. DOI: 10.1007/s12008-020-00694-5.

10. Muttenthaler L. Scripted CFD simulations and postprocessing in Fluent and ParaVIEW. Johannes Kepler University Linz, 2017.

УДК 004.056.5:378

ЦИФРОВОЙ ПОЛИГОН ДЛЯ АВИАСТРОЕНИЯ: ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ НА БАЗЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ ФАБРИКИ ПРОЦЕССОВ ПИШ КАИ

Зорина Т.Г., д.э.н., заведующая лабораторией «Устойчивое энергетическое развитие» Института энергетики НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь;
E-mail: tanyazorina@ipe.by;
Стяжкин М.Н., советник генерального директора АО «ПОЗиС» по научно-образовательной работе, г. Зеленодольск,
E-mail: m.styazhkin@pozis.ru;
Сафаргалиев М.Ф., заведующий кафедрой экономики и управления на предприятии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-8526-7633;
E-mail: MFSafargaliev@kai.ru

DIGITAL POLYGON FOR AIRCRAFT MANUFACTURING: A PRACTICE-ORIENTED TRAINING MODEL BASED ON THE KAI ADVANCED ENGINEERING SCHOOL'S CYBER-PHYSICAL PROCESS FACTORY

Zorina T.G., Doctor of Economics, Head of the Laboratory «Sustainable Energy Development» at the Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus;
E-mail: tanyazorina@ipe.by;
Styazhkin M.N., Advisor to the General Director of JSC POZIS for scientific and educational work, Zelenodolsk;
E-mail: m.styazhkin@pozis.ru;
Safargaliev M.F., Head of the Department of Economics and Management at Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-8526-7633;
E-mail: MFSafargaliev@kai.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема подготовки инженерных кадров для серийного производства гражданской авиационной техники в условиях санкционных ограничений

и необходимости достижения технологического суверенитета. Представлен опыт создания и функционирования киберфизической фабрики «Фабрика процессов в авиастроении» на базе Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» КНИТУ – КАИ. Описана двухэтапная модель развития фабрики: от учебного полигона на основе сборки модульного БПЛА до специализированного отраслевого инструмента для отработки навыков планирования и организации реального производства на базе цифровых технологий. Показан опыт АО «ПОЗиС» как индустриального партнёра в области внедрения инструментов бережливого производства и цифровой трансформации. Предложена методика оценки эффективности обучения сотрудников предприятий по направлениям «бережливые технологии» и «цифровые технологии», включающая систему показателей и расчёт экономического эффекта. Приведён условный пример расчёта, демонстрирующий высокую возвратность инвестиций в обучение на фабрике процессов.

Ключевые слова: передовая инженерная школа, бережливое производство, цифровые технологии, организация производства, подготовка кадров, повышение квалификации, оценка эффективности обучения, технологический суверенитет, импортозамещение, производительность труда, инженеры-организаторы

Abstract

The article examines the problem of training engineering personnel for the mass production of civilian aviation equipment under conditions of sanctions restrictions and the need to achieve technological sovereignty. The experience of creating and operating the cyber-physical factory «Factory of Processes in Aircraft Construction» based on the Advanced Engineering School «Integrated Aviation Engineering» at KNRTU – KAI is presented. A two-stage model for the factory's development is described: from a training ground based on the assembly of a modular UAV to a specialized industry tool for practicing the skills of planning and organizing real production based on digital technologies. The experience of JSC «POZIS» as an industrial partner in the field of implementing lean production tools and digital transformation is demonstrated. A methodology for assessing the effectiveness of training employees of enterprises in the areas of «lean technologies» and «digital technologies» is proposed, which includes a system of indicators and calculation of the economic effect. A conditional example of a calculation is provided, demonstrating the high return on investment in training at the process factory.

Keywords: Advanced Engineering School, lean manufacturing, digital technologies, production organization, personnel training, professional development, assessment of training effectiveness, technological sovereignty, import substitution, labor productivity, engineering organizers

Введение

Россия способна осуществлять полный цикл создания авиационной техники. В стране имеется развитая наука, технологии, производительное оборудование, кадры и финансовые ресурсы. Тем не менее, серийный выпуск гражданских самолётов остаётся вызовом. Критически важно возродить серийное производство гражданских самолетов для внутреннего рынка, а в перспективе и на экспорт.

Продолжающиеся санкционные ограничения подтверждают, что требуется не просто импортозамещение, а опережающее развитие собственных компетенций. Именно это позволит обеспечить технологическое лидерство. Авиастроение наиболее благоприятная и близкая область к потенциальному технологическому суверенитету.

Достижение лидерства невозможно без эффективной подготовки кадров, осваивающих самые передовые технологии. В России создана инфраструктура для подготовки инженерных кадров нового поколения.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ – КАИ) принимает участие в проектах Минобрнауки РФ – «Приори-

тет-2030» и «Передовые инженерные школы» (ПИШ). Так, создание ПИШ КАИ стало ответом на запрос авиастроительной отрасли на специалистов нового поколения.

В 2026 г. на базе ПИШ КАИ создана и успешно функционирует киберфизическая фабрика «Фабрика процессов в авиастроении» – уникальный учебно-производственный полигон, объединяющий цифровое моделирование, инструменты бережливого производства и цифровые технологии. Цель – готовить инженеров-организаторов, способных выстроить эффективное серийное производство, а также развивать компетенции сотрудников промышленных предприятий в области организации производства.

Обеспечению роста производительности и эффективной организации производства в промышленном секторе посвящено большое количество научных работ. Проведённый анализ научной литературы показал возрастание интереса к проблематике организации производства, внедрения бережливых технологий и создания имитационных площадок для деятельностного обучения позволяет выделить несколько ключевых направлений исследований.

Значительный пласт работ посвящён теоретическим и прикладным аспектам организации производства в авиастроении. Вопросы автоматизации процессов подготовки производства в единой информационной среде жизненного цикла изделия рассмотрены в работе Р.А. Галямова [1]. Д.В. Мантуров и А.И. Тихонов определили основные направления интегрированного применения информационных технологий при организации производства в авиастроении [10], а В.Д. Калачанов с соавторами исследовали организацию разработки и производства новой техники в наукоёмких отраслях промышленности [6, 7, 8]. Е.Н. Чижова с соавторами изучили влияние организационно-технологических моделей производства «Фабрики будущего» на производительность труда [14]. Н.С. Ефимова предложила концепцию внедрения интегрированных информационных систем на предприятиях авиастроения [4]. Вопросы бережливого производства в условиях цифровизации авиастроительных предприятий рассмотрены в работе О.Ф. Соколовой и А.А. Манзулиной [12]. М.Н. Титова с соавторами исследовали современные формы организации производства на модульных фабриках в условиях цифровой трансформации [13].

Уделяется внимание практико-ориентированным моделям обучения и имитационным площадкам для подготовки кадров в области бережливого производства. К.А. Дебердиев рассмотрел организацию логистических процессов на принципах бережливого производства как фактор повышения производительности машиностроительных предприятий [2]. В.А. Довгаль представил опыт работы фабрики процессов в высшем учебном заведении для имитации производственного процесса при обучении бережливому производству [3]. В.Ю. Злыгостев исследовал роль учебно-производственных площадок «Фабрика процессов» в формировании культуры бережливого производства и обучении персонала [5]. Г.В. Карамушко и С.Г. Чефранов разработали и зарегистрировали базу данных «Материалы для организации на фабрике процессов бизнес-тренинга по основам бережливого производства» [9]. Д.И. Нугманов описал цифровую фабрику как инструмент совершенствования процессов организации производства [11]. К.О. Шевченко исследовал метрологическое обеспечение процесса производства изделий из композиционных материалов в авиастроении [15].

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что существующие исследования в области организации производства и бережливых технологий активно развиваются, однако недостаточно внимания уделяется интеграции киберфизических фабрик процессов в образовательный процесс высшей школы как инструмента подготовки инженеров-организаторов производства, способных обеспечить серийный выпуск авиационной техники в условиях санкционных ограничений и импортозамещения. Это обосновывает актуальность разработки практико-ориентированной модели обучения на базе цифрового полигона, интегрирующего цифровое моделирование, инструменты бережливого производства и реальное высокотехнологичное оборудование.

Киберфизическая фабрика «Фабрика процессов в авиастроении»

ПИШ КАИ «Комплексная авиационная инженерия» уделяется пристальное внимание эффективной организации производства.

Созданный на базе ПИШ КАИ учебно-производственный полигон (фабрика процессов) позволяет моделировать производственные процессы авиастроительного предприятия. Киберфизическая фабрика стала инструментом трансфера знаний и технологий между университетом и авиазаводом.

Создание фабрики предусматривает два крупных этапа (табл. 1).

Таблица 1

Этапы проекта ПИШ КАИ «Киберфизическая фабрика “Фабрика процессов в авиастроении”»

Параметр	I Этап (базовый, на основе БПЛА)	II Этап (специализированный, под заказчиков)
Партнёры	ПАО «Туполев», Объединённая авиастроительная корпорация (ОАК)	Холдинг «Вертолёты России», Казанский научно-исследовательский институт авиационной техники (КНИАТ)
Узлы для сборки	Модульный беспилотный летательный аппарат (разработка ПИШ КАИ)	Детали вертолёта от КБ Миля / детали самолёта от КНИАТ
Подрядчик	Компания по разработке решений в области организации производства	Компания – интегратор КНИАТ и Казанского агрегатного завода
Программное обеспечение	Разработка подрядчика	1С:ERP (Закупки, Склад, Изделия и ТИ, MES/APS, Планирование, Маркетинг, Продажи)
Задача фабрики	Отработка инструментов бережливого производства, в том числе цифровых технологий (ЦТ)	Отработка навыков планирования и организации реального производства с применением цифровых технологий

Первый этап (базовый, на основе БПЛА) – создание учебно-производственного полигона для отработки инструментов бережливого производства и цифровых технологий на примере сборки модульного беспилотного летательного аппарата. Этап полностью реализован.

Второй этап (специализированный, под заказчиков) – масштабирование фабрики на реальные производственные задачи: сборка деталей вертолётов и самолётов. Завершение данного этапа планируется в начале 2027 года.

Преемственность этапов предполагает переход от учебного полигона к отраслевому инструменту повышения производительности через подготовку кадров для реального авиастроительного производства.

Следует отметить, что индустриальные партнеры КАИ непрерывно оказывают методическую поддержку университету путем постановки производственных задач.

Киберфизическая фабрика «Фабрика процессов в авиастроении» ПИШ КАИ создавалась на основе опыта коллег, таких как: Казанский авиационный завод, АО «ПОЗиС» и других промышленных предприятий.

Опыт АО «ПОЗиС» в области организации эффективных производственных процессов

Эффективность управления производством сегодня становится одним из важнейших факторов конкурентоспособности предприятия. При этом нужно осознавать, что без ком-

плексного подхода к аспектам развития системы производства, вовлеченности персонала в процесс постоянных изменений, адаптации производственной системы под потребности современного рынка добиться уникальных конкурентных преимуществ невозможно.

В качестве примера, отражающего современные тенденции и направления оптимизации и развития производственных систем в статье представляется компания POZIS, которая в течение многих лет прочно позиционирует себя как новатор эффективного внедрения основных инструментов и методов лин-технологий и индустрии 4.0., позволяющих посредством эффективного использования имеющихся ресурсов предприятия эффективно повышать производительность труда и максимизировать качество выпускаемой продукции.

АО «ПОЗиС» – один из крупнейших производителей бытовой холодильной техники и торгово-медицинского оборудования в России; входит в состав концерна «Техмаш» государственной корпорации Ростех. Является производственной компанией полного цикла: от разработок в собственном R&D-центре – до готового изделия и сервисного обслуживания. Основными видами деятельности компании являются: производство холодильной техники бытового и профессионального назначения, производство полной гаммы медицинских приборов, отвечающих требованиям «Холодовой цепи», производство дезинфицирующей техники, производство оборудования для сегмента HoReCa, промышленный инжиниринг и нестандартное оборудование. Продукция компании реализуется как в Российской Федерации, так и за рубежом.

Основные положения и направления работы по совершенствованию производственной деятельности предприятия закреплены в декларации производственной системы POZIS, которая позволила конкретизировать работу по достижению поставленных целей и задач.

Декларация провозглашает 10 основных принципов PPS (Pozis Production System – PPS), которые основываются на общепринятых принципах эффективных производственных систем мирового уровня.

Развитие производственной системы POZIS реализуется через системное внедрение основных инструментов Lean production, а также через цифровизацию всех этапов создания ценности – от проектирования до сервисного обслуживания

В табл. 2 представлены ключевые управленческие, технологические и технические направления проектов по снижению себестоимости продукции, повышению производительности труда, сокращению уровня незавершенного производства, обеспечению выполнения плановых заданий по специальной и гражданской продукции.

Таблица 2

Управленческие, технологические и технические решения АО «ПОЗиС»

№ п/п	Направление адаптации	Инструменты и методы	Суть / Результат
1	Внедрение Lean-инструментов для организации производства и рабочих мест	5S, VSM, Kaizen, SFM, Kanban, стандартизация работы, системное обучение персонала	Организация «гембы» по принципу 3-10-30 (за 3 секунды понять ситуацию на участке, за 10 – причину отклонений, за 30 – принять решение для выравнивания цикла)
2	Повышение эффективности использования имеющихся ресурсов	Комбинация современных технологий производства с современными методами организации производства	Устранение дисбаланса между новым оборудованием и устаревшими методами управления; рост производительности труда, балансировка нагрузки, максимизация качества

Окончание табл. 2

№ п/п	Направление адаптации	Инструменты и методы	Суть / Результат
3	Всеобщее обслуживание оборудования и сбор данных	Анализ данных с лимитирующих станков, прогнозирование поломок, переход к предиктивному обслуживанию	Повышение общей эффективности оборудования (OEE) за счёт ликвидации скрытых простоев, минимизация затрат на ТОиР
4	Горизонтальная и вертикальная IT-интеграция	ERP + MES + PLM в едином цифровом пространстве; автоматизированная система управления складом LEAD WMS	Сквозное управление производством и логистикой; отслеживание этапов обработки и передачи готовой продукции по штрих-кодированию
5	Интеллектуальный анализ и поддержка человека	Кибербезопасность, защита промышленной инфраструктуры, предотвращение утечек данных	Укрепление конкурентоспособных позиций предприятия; сочетание защиты от кибератак и сохранение технологической тайны

Начиная с 2010 г., от реализации проектов по развитию производственной системы и цифровой трансформации в рамках компании POZIS был получен суммарный экономический эффект в размере более чем 400 млн. руб. По системе 5S было аттестовано более 3,5 тыс. рабочих мест, подано более 6,5 тыс. кайдзен-предложений. Высвобождено неиспользуемых производственных площадей 31,8 тыс. кв. м., что составляет до 10% от всей производственной площади.

Несмотря на достигнутые результаты, системное совершенствование производственной системы POZIS продолжается. Основной вектор развития нацелен на повышение уровня профессиональной подготовки и профессиональных компетенций сотрудников компании в направлении развития системы производства, максимальную интеграцию всех подразделений компании в процессы развития производственной системы, оптимизацию применяемых подходов к управлению производством и, как следствие, формирование уникальной производственной системы, которая обеспечивает конкурентное качество выпускаемой продукции, адаптированной под современные потребности клиента и специфику потребительского рынка.

Методика оценки эффективности обучения сотрудников предприятий на фабрике процессов в авиастроении ПИШ КАИ

Научная поддержка разработки практико-ориентированных моделей обучения и оценки их эффективности осуществлялась при участии Института энергетики Национальной академии наук Беларуси в лице доктора экономических наук, заведующей лабораторией «Устойчивое энергетическое развитие» Зориной Татьяны Геннадиевны. Опыт белорусских коллег в области оценки эффективности управленческих и технологических инноваций, а также методологические подходы к количественному измерению влияния обучения на производственные показатели легли в основу разработанной методики оценки эффективности обучения на киберфизической фабрике.

На основе опыта учебного центра АО «ПОЗиС» по взаимодействию с заказчиками, а также опыта самого КАИ разработана методика оценки эффективности обучения сотрудников предприятий на фабрике процессов в авиастроении ПИШ КАИ.

Методика позволяет количественно измерить влияние обучения по двум направлениям: бережливые технологии; цифровые технологии (табл. 3).

Таблица 3

Система показателей эффективности обучения

Направление обучения	Показатель	Ед. изм.	Формула
Бережливые технологии	Сокращение времени переналадок (SMED)	мин.	ΔTпер=Tдо–Tпосле
	Снижение запасов незавершённого производства (НЗП)	шт.	ΔНЗП=НЗПдо–НЗПпосле
	Сокращение перемещений (по принципу «не возить воду»)	м	ΔL=Lдо–Lпосле
	Улучшение 5S (оценка)	баллы	$\Delta 5S$=5Sпосле–5Sдо
Цифровые технологии	Сокращение времени на планирование сменных заданий	ч/смену	ΔTплан=Tдо–Tпосле
	Повышение точности выполнения плана	%	ΔKвып=Kпосле–Kдо
	Снижение простоев оборудования (по данным MES)	ч/мес	ΔTпрост=Tдо–Tпосле
	Рост прозрачности (учёт брака в цифре)	%	ΔБручет=Брпосле–Брдо (учтённый брак)

Расчет эффективности обучения сотрудников промышленного предприятия показал значительную результативность и существенное влияние на показатели организации производства (табл. 4).

Таблица 4

Таблица расчёта экономического эффекта (условный пример)

Направление	Показатель	Изменение	Расчёт экономии	Экономия, руб./год
Бережливые технологии	Сокращение переналадок	20 мин = 0,33 ч	0,33 × 200 партий × 1 200 руб./ч	79 200
	Снижение НЗП	120 шт.	120 × 1 200 руб.	144 000
	Сокращение перемещений	60 м	60 × 5 руб./м × 250 раб. дней	75 000
	Итого по бережливым технологиям			298 200
Цифровые технологии	Сокращение времени планирования	1,0 ч/смену	1,0 × 500 руб./ч × 250 дней	125 000
	Повышение точности плана	+14 п.п.	120 000 × 0,14 × 1 200 руб. × 0,3 (доля условно-постоянных затрат)	6 048 000
	Снижение простоев	6 ч/мес	6 × 12 мес. × 1 200 руб./ч	86 400
Итого по цифровым технологиям				6 259 400
ВСЕГО ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ				6 557 600

Выполненный условный расчёт продемонстрировал, что инвестиции в обучение на фабрике процессов окупаются менее чем за один месяц, а каждый вложенный рубль приносит предприятию значительную экономию, что подтверждает высокую экономическую эффективность предлагаемого подхода.

Заключение

В результате проведённого исследования разработана и апробирована практико-ориентированная модель обучения на базе киберфизической фабрики «Фабрика процессов в авиастроении» ПИШ КАИ, интегрирующая цифровое моделирование, инструменты бережливого производства и реальное высокотехнологичное оборудование. Предложенная двухэтапная модель развития фабрики – от учебного полигона на основе сборки модульного БПЛА до специализированного отраслевого инструмента для отработки навыков организации реального производства – обеспечивает преемственность образовательного процесса и его адаптацию к запросам отрасли.

Проведённый анализ опыта АО «ПОЗиС» подтвердил, что системное внедрение инструментов бережливого производства и цифровых технологий, сопровождаемое развитием кадровых компетенций, позволяет достичь значительного экономического эффекта. За 15 лет реализации проектов по развитию производственной системы компанией получен экономический эффект в размере более 400 млн. рублей, аттестовано более 3,5 тыс. рабочих мест по системе 5S, подано более 6,5 тыс. кайдзен-предложений, высвобождено 31,8 тыс. кв. м производственных площадей, что подтверждает эффективность комплексного подхода к организации производства.

Разработанная методика оценки эффективности обучения сотрудников предприятий на фабрике процессов, включающая систему показателей по направлениям «бережливые технологии» и «цифровые технологии», позволяет количественно измерить влияние обучения на производственные показатели.

Таким образом, киберфизическая фабрика «Фабрика процессов в авиастроении» ПИШ КАИ является эффективным инструментом трансфера знаний и компетенций между университетом и авиастроительной отраслью. Она не только формирует у студентов и специалистов предприятий практические навыки организации производства, но и служит мостом между академической средой и реальными вызовами промышленности, обеспечивая подготовку кадров, способных выстроить эффективное серийное производство гражданской авиационной техники и обеспечить технологический суверенитет России.

Дальнейшие перспективы развития киберфизической фабрики связаны с масштабированием её применения на другие предприятия авиастроительного кластера, расширением перечня решаемых производственных задач и интеграцией в систему дополнительного профессионального образования для специалистов отрасли.

Благодарности

Работа выполнена за счет предоставленного в 2026 г. Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан» (Соглашение №14 от 05.08.2026 г.)

Список литературы

1. Галямов, Р. А. Задачи автоматизации процессов подготовки производства в автоматизированной среде жизненного цикла изделия в авиастроении / Р. А. Галямов // Актуальные проблемы современной экономики России : Сборник материалов, Казань, 03 февраля 2015 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, Евразийский международный научно-аналитический журнал «Проблемы современной экономики», Международная

ассоциация институциональных исследований, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Экономическое общество Республики Татарстан, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2015. – С. 101-107. – EDN UJIOCV.

2. Дебердиев, К. А. Организация логистических процессов на принципах бережливого производства как фактор повышения производительности машиностроительных предприятий / К. А. Дебердиев // Проблемы функционирования систем транспорта : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 07–08 декабря 2023 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. – С. 241-243. – EDN EXXSQG.

3. Довгаль, В. А. Имитация производственного процесса при обучении бережливому производству: опыт работы фабрики процессов в высшем учебном заведении / В. А. Довгаль // Информационные технологии в образовании : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Грозный, 29 октября 2020 года. – Махачкала: Чеченский государственный педагогический университет; ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2020. – С. 54-62. – EDN BKLFYF.

4. Ефимова, Н. С. Создание единой концепции внедрения интегрированных информационных систем при организации производства на предприятиях авиастроения / Н. С. Ефимова // 18-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2019» : Тезисы, Москва, 18–22 ноября 2019 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2019. – С. 87. – EDN DCGUNT.

5. Злыгостев, В. Ю. Роль учебно-производственных площадок «Фабрика процессов» в формировании культуры бережливого производства и обучении персонала / В. Ю. Злыгостев // Российская наука в фокусе перемен : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 28 сентября 2025 года. – Уфа: ООО «Аэтерна», 2025. – С. 34-45. – EDN WIJWHP.

6. Калачанов, В. Д. Организация разработки и производства новой техники в наукоемких отраслях промышленности России (на примере авиастроения) / В. Д. Калачанов, Д. В. Мантуров // Вестник университета. – 2012. – № 11. – С. 102-110. – EDN PLQQXD.

7. Калачанов, В. Д. Оценка целесообразности внедрения информационных систем при организации производства в авиастроении / В. Д. Калачанов, М. В. Олейникова // 18-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2019» : Тезисы, Москва, 18–22 ноября 2019 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва : Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2019. – С. 91. – EDN NQWVPW.

8. Калачанов, В. Д. Формирование процесса информатизации управления затратами при организации производства на предприятиях авиастроения / В. Д. Калачанов, А. А. Ермаков, Е. В. Щеулина // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 2. – С. 278-282. – EDN CVPWEC.

9. Карамушко, Г. В. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621331 Российская Федерация. Материалы для организации на фабрике процессов бизнес-тренинга по основам бережливого производства: «Имитационная модель производственного процесса» : № 2018620983 : заявл. 10.07.2018 : опубл. 21.08.2018 / Г. В. Карамушко, С. Г. Чефранов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «МГТУ»). – EDN XEAHFX.

10. Мантуров, Д. В. Основные направления интегрированного применения информационных технологий при организации производства в авиастроении / Д. В. Мантуров, А. И. Тихонов // Труды МАИ. – 2012. – № 50. – С. 41. – EDN OUXFHF.

11. Нугманов, Д. И. Цифровая фабрика как инструмент совершенствования процессов организации производства / Д. И. Нугманов // Актуальные тренды цифровой трансформации промышленных предприятий : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 28–29 ноября 2025 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 371-373. – EDN YUEVEC.

12. Соколова, О. Ф. Бережливое производство в цифровизации организации деятельности предприятия авиастроения / О. Ф. Соколова, А. А. Манзулина // Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера : Сборник научных трудов IX Всероссийской научной конференции, Ульяновск, 22–24 октября 2024 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2024. – С. 28-32. – EDN EXSOOS.

13. Титова, М. Н. Современные формы организации производства на модульных фабриках в условиях цифровой трансформации / М. Н. Титова, Е. М. Ильинская, Л. В. Титова // Цифровые интеллектуальные экосистемы в экономике и промышленности. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 247-270. – DOI 10.18720/IEP/2023.5/11. – EDN UINKNL.

14. Чижова, Е. Н. Влияние организационно-технологических моделей производства «Фабрики будущего» на производительность труда / Е. Н. Чижова, М. В. Владыка, Г. Г. Балабанова // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. – 2023. – Т. 9, № 3. – С. 53-64. – DOI 10.18413/2408-9346-2023-9-3-0-4. – EDN DTXEUL.

15. Шевченко, К. О. Метрологическое обеспечение процесса производства изделий из композиционных материалов в авиастроении / К. О. Шевченко // Решетневские чтения: Материалы XXVIII Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со Дня рождения генерального конструктора ракетно-космических систем академика Михаила Федоровича Решетнева. В 2-х частях, Красноярск, 18–22 ноября 2024 года. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2024. – С. 638-640. – EDN WHIKEH.

УДК 332.1:69:004.9

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУСТРИИ 4.0 (BIM, IOT, AI) В СТРОИТЕЛЬНЫЙ СЕКТОР РЕГИОНА: ДРАЙВЕРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ И ОЦЕНКА БАРЬЕРОВ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Ибрагимов Э.М., аспирант ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-0633-119X

INTEGRATION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES (BIM, IOT, AI) INTO THE REGIONAL CONSTRUCTION SECTOR: TRANSFORMATION DRIVERS AND BARRIERS ASSESSMENT (CASE STUDY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN)

Ibragimov E.M., Postgraduate Student, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-0633-119X

Аннотация

Строительная отрасль является одной из ключевых в экономике любого региона, однако исторически она характеризуется низкой инновационной активностью и высокой инерционностью. В условиях перехода к цифровой экономике возникает объективная необходимость трансформации строительного сектора на основе сквозного внедрения технологий Индустрии

4.0. В статье уточнено понятие цифровизации в строительстве с авторской позиции, систематизированы подходы российских и зарубежных исследователей к роли цифровой трансформации в развитии строительного сектора, выделены преимущества и вызовы цифровизации на региональном уровне. Особое внимание уделено региональной компоненте: показано, как цифровые технологии (BIM, IoT, Big Data, AI, VR/AR, 3D-печать) влияют на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов в условиях конкретного региона. На примере Республики Татарстан предложены стратегические направления цифровой трансформации строительной отрасли. Результаты могут быть использованы органами региональной власти, строительными компаниями и научными учреждениями при разработке программ цифровизации.

Ключевые слова: цифровизация строительства, цифровая экономика, BIM, региональная экономика, Республика Татарстан, цифровая трансформация, IoT, искусственный интеллект, управление жизненным циклом объектов, Индустрия 4.0

Abstract

The construction industry is one of the key sectors in the economy of any region, but historically it has been characterized by low innovation activity and high inertia. In the context of the transition to a digital economy, there is an objective need to transform the construction sector based on the end-to-end implementation of Industry 4.0 technologies. The article clarifies the concept of digitalization in construction from the author's perspective, systematizes the approaches of Russian and foreign researchers to the role of digital transformation in the development of the construction sector, and highlights the advantages and challenges of digitalization at the regional level. Special attention is paid to the regional component: it is shown how digital technologies (BIM, IoT, Big Data, AI, VR/AR, 3D printing) affect the design, construction and operation of facilities in a specific region. Using the Republic of Tatarstan as an example, strategic directions for the digital transformation of the construction industry are proposed. The results can be used by regional authorities, construction companies and scientific institutions in the development of digitalization programs.

Keywords: construction digitalization, digital economy, BIM, regional economy, Republic of Tatarstan, digital transformation, IoT, artificial intelligence, facility lifecycle management, Industry 4.0

Введение

Строительная отрасль занимает особое место в структуре национальной и региональной экономики, обладая высокой социальной значимостью, капиталоёмкостью и технологической сложностью. При этом на протяжении десятилетий она характеризовалась сравнительно медленным внедрением инноваций и цифровых решений по сравнению с другими секторами экономики. Однако в условиях перехода к цифровой экономике именно строительство становится одной из наиболее перспективных сфер для глубокой технологической трансформации [1].

Концепция «Индустрия 4.0» («Construction 4.0» в строительном контексте) предполагает интеграцию сквозных цифровых технологий на всех этапах производственного цикла. Как показывают исследования, технологии Индустрии 4.0 способны кардинально изменить подходы к управлению строительными проектами, повышая их эффективность, снижая издержки и улучшая качество [2]. Внедрение таких технологий, как информационное моделирование (BIM), интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (AI) и цифровые двойники, позволяет перейти от реактивного управления к проактивному, основанному на данных [3].

Для регионов, где строительный сектор определяет темпы развития инфраструктуры, жилищного строительства и инвестиционной привлекательности, вопрос цифровизации приобретает особое значение. Республика Татарстан, являясь одним из лидеров цифровой трансформации среди субъектов РФ, сталкивается с необходимостью системного перехода строительной отрасли на новые технологические рельсы. При этом существующие теоретические

и методические подходы к цифровой трансформации строительства слабо учитывают региональную специфику, что создаёт разрыв между общероссийскими стратегиями и практикой внедрения на местах [4].

В научной и прикладной литературе термин «цифровизация» трактуется как этап эволюции информационного общества, на котором цифровые данные становятся основным ресурсом управления, а цифровые технологии – ключевым инструментом оптимизации процессов. Обобщая определения ведущих организаций (Всемирный банк, Европейская комиссия, McKinsey, национальная программа «Цифровая экономика РФ»), можно выделить общую суть: цифровизация – это переход от аналоговых процессов к цифровым с помощью технологий (AI, блокчейн, IoT) для автоматизации процессов, улучшения сервиса и создания новых продуктов.

Однако применительно к строительной отрасли этого общего определения недостаточно. Проведенный анализ подходов зарубежных и российских авторов [1, 3, 5] позволяет констатировать, что большинство исследователей акцентируют внимание на внедрении BIM, IoT и AI для оптимизации строительных процессов, снижения затрат и сроков. Вместе с тем, за рамками часто остается региональная составляющая: разница в уровне цифровой зрелости строительных компаний, доступности квалифицированных кадров, нормативной базе и инфраструктуре [4, 6].

Таким образом, цифровизация в строительстве – это системная трансформация отрасли на основе интеграции цифровых технологий (BIM, IoT, AI, цифровые двойники, 3D-печать, VR/AR) на всех этапах жизненного цикла объекта – от проектирования до эксплуатации и утилизации – направленная на повышение точности (исключение «человеческого фактора» через алгоритмы), оптимизацию ресурсов (снижение сроков, затрат, отходов), коллаборацию участников (единая цифровая среда для заказчиков, подрядчиков, регуляторов) и управление рисками (предиктивная аналитика, мониторинг в реальном времени), с обязательным учётом региональных условий и ограничений.

Ключевым отличием цифровизации от автоматизации является её системный, интегративный характер. Если автоматизация ускоряет отдельные операции, то цифровизация перестраивает всю модель управления, делая её интеллектуально управляемой, адаптивной и ориентированной на работу с данными в реальном времени.

Цель статьи – на основе анализа теоретических подходов и современных технологий определить ключевые направления, преимущества и вызовы цифровизации строительной отрасли региона, а также предложить авторское видение приоритетов внедрения применительно к Республике Татарстан.

Теоретическое осмысление взаимосвязи цифровой трансформации и развития строительной отрасли базируется на междисциплинарном подходе, объединяющем теории региональной экономики, управления проектами и цифровой трансформации. В работах Д.О. Гулюкина обосновывается, что «успешная трансформация требует не только внедрения передовых технологий, но и глубоких институциональных реформ, изменения организационной культуры и разработки адекватных систем оценки» [7]. Исследователи отмечают, что «несмотря на комплексную законодательную базу и существующие цифровые решения, строительная отрасль сталкивается с серьезными барьерами, укорененными в бюрократической ригидности, дефиците квалифицированных кадров и слабой вовлеченности малых и средних предприятий» [8].

Важный аспект, выделяемый в научной литературе, связан с влиянием цифрового неравенства на региональное развитие строительного сектора. Исследования показывают, что разрыв в уровнях цифровой зрелости между регионами не только усиливает социально-экономическую дифференциацию, но и создаёт технологические разрывы: регионы-аутсайдеры воспринимаются как менее привлекательные для реализации инвестиционно-строительных проектов [4]. В условиях цифровой трансформации конкурентоспособность строительного

сектора региона всё чаще связывается с уровнем «цифровой зрелости», которая формируется под влиянием доступности и качества цифровых инструментов, прозрачности процессов и эффективности управления данными.

Анализ международного опыта показывает, что цифровая трансформация строительства может выступать инструментом повышения эффективности и конкурентоспособности. В исследовании Nik Azman на примере строительных проектов в Малайзии установлено, что «внедрение технологий Индустрии 4.0 оказывает положительное и значительное влияние на производительность и устойчивость строительного сектора путем повышения точности планирования и оптимизации ресурсов» [6].

Анализ научных источников показывает, что проблематика влияния цифровизации на развитие строительной отрасли регионов находится на пересечении нескольких исследовательских направлений. При этом недостаточно разработанными остаются вопросы системного управления цифровой трансформацией строительного сектора через внедрение технологий Индустрии 4.0, а также методики оценки барьеров и эффектов цифровизации на региональном уровне [2].

Методика

Методологическую основу исследования составляют системный и институциональный подходы к анализу процессов цифровой трансформации строительной отрасли и их влияния на региональное развитие. В работе использовались общенаучные методы: анализ и синтез, сравнение и обобщение, индукция и дедукция.

Для анализа теоретических основ применялся метод контент-анализа научной литературы и официальных документов, позволивший выявить ключевые подходы к пониманию взаимосвязи цифровизации и развития строительного сектора регионов. Использовался метод сравнительного анализа для сопоставления эффектов цифровой трансформации в различных регионах России [4, 7].

При исследовании текущего состояния цифровизации строительной отрасли и её барьеров применялся метод статистического анализа данных рейтингов цифровой трансформации субъектов РФ, включая рейтинг руководителей цифровой трансформации (РЦТ) за 2024-2025 гг., а также отраслевые показатели строительного комплекса Республики Татарстан [9, 10, 11, 12].

Метод кейс-стади использовался для углублённого анализа успешных практик цифровой трансформации строительного сектора на примере Республики Татарстан как региона-лидера цифрового развития [13, 14].

Эмпирическую базу исследования составили официальные документы Правительства Российской Федерации, аналитические материалы Министерства строительства Республики Татарстан, территориального органа Росстата по РТ, данные рейтингов цифровой трансформации регионов, а также результаты научных исследований отечественных и зарубежных авторов.

Основная часть

Анализ эмпирических данных позволяет утверждать, что цифровая трансформация выступает одним из ключевых факторов развития строительного сектора региона в современных условиях. Взаимосвязь между уровнем цифровизации и конкурентоспособностью строительной отрасли проявляется по нескольким направлениям, которые могут быть систематизированы в рамках технологической модели «Construction 4.0» [2].

Внедрение технологий Индустрии 4.0 в деятельность строительных компаний становится системным фактором повышения эффективности отрасли. В рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» особое внимание уделяется внедрению информационного моделирования (BIM), интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (AI) в строительный сектор. Как подчёркивается в стратегических документах, «качество и скорость строительства, прозрачность расходования бюджетных средств и безопасность объектов – ключевые элементы успешной цифровой трансформации отрасли» [7].

Региональная практика демонстрирует прямую корреляцию между внедрением цифровых технологий и укреплением конкурентных позиций строительного сектора. Республика Татарстан, располагающая развитой технопарковой инфраструктурой (IT-парк, Иннополис) и высоким уровнем цифровизации государственных услуг, демонстрирует системный подход к трансформации строительного комплекса. Как отмечает Министерство строительства Республики Татарстан, «в проекте цифровой трансформации участвуют крупнейшие строительные холдинги региона, оценка проводится по критериям цифровой зрелости и эффективности внедрения BIM-технологий», что свидетельствует о комплексном характере трансформационных эффектов [9].

Аналогичные результаты демонстрируют регионы-лидеры цифровой трансформации строительства. В Сахалинской области, удостоенной награды за внедрение стандартов клиентоцентричности, активно применяются цифровые двойники для управления социальными объектами, что позволяет сократить эксплуатационные затраты на 15–20% [9]. В Иркутской области внедрены системы мониторинга строительных площадок на основе IoT-сенсоров, что позволило снизить травматизм и повысить контроль качества работ [10].

Цифровая трансформация строительного сектора предполагает переход от «бумажной логики» к «цифровой логике» управления полным жизненным циклом объекта. Республика Татарстан, входящая в число регионов-лидеров по внедрению BIM-технологий, реализует пилотные проекты по созданию цифровых двойников социально значимых объектов: школ, больниц, административных зданий [14]. Как показывает опыт региона, применение BIM-моделирования позволяет сократить сроки проектирования на 20–30%, количество ошибок на стадии строительства – на 40–50%, а эксплуатационные затраты – на 15–25% [17, 18].

На основе системного анализа можно выделить четыре основных канала влияния цифровой трансформации на развитие строительного сектора региона (рис. 1).



Рис. 1. Каналы влияния цифровой трансформации на строительный сектор региона в модели Construction 4.0

Канал 1 – качество проектирования и управления данными. Данный канал включает применение BIM-технологий на всех этапах жизненного цикла объекта, использование цифровых двойников для предиктивного обслуживания, внедрение систем управления проектами на основе больших данных [17, 18]. Исследования показывают, что при оценке эффективности строительного сектора всё большее значение приобретает анализ цифровой зрелости компаний и глубины внедрения информационного моделирования. Как отмечается в рейтингах цифровой трансформации регионов, регионы-лидеры «демонстрируют эффективное развитие по всем компонентам: обладают развитой инфраструктурой, максимальной глубиной внедрения BIM, используют инновационные технологии и обеспечивают высокое качество управления проектами» [12].

Канал 2 – прозрачность и контроль. Цифровые технологии создают новые возможности для мониторинга строительных процессов, контроля за расходованием бюджетных средств и соблюдением сроков. В рамках модели «прозрачного строительства» цифровизация способствует росту доверия к строительному сектору за счёт повышения управляемости и подотчётности административных процессов [15]. При этом исследователи предостерегают от риска «формальной цифровизации», при которой цифровые инструменты используются для демонстрации открытости при сохранении традиционных методов управления [4].

Канал 3 – оперативный мониторинг и обратная связь. Цифровые платформы (порталы госуслуг, системы электронного документооборота, единые контакт-центры) обеспечивают взаимодействие между заказчиками, подрядчиками и регулирующими органами. Как показывает опыт Центров управления регионами (ЦУР), система мониторинга и обработки обращений граждан в социальных сетях демонстрирует высокую эффективность: скорость ответа на обращения сократилась с 30 дней до 3,5-5 часов. За прошлый год только в Татарстане оставлено более 122 тыс. жалоб и предложений, касающихся строительства и ЖКХ, которые обрабатываются через специальную федеральную систему автоматического распределения по ответственным службам [10].

Канал 4 – эффективность управления ресурсами. Цифровизация внутренних процессов строительных компаний, внедрение систем управления на основе данных повышают качество управленческих решений, что в конечном счёте отражается на экономических показателях и конкурентоспособности региона. Эмпирические исследования показывают, что эффективность строительного сектора формируется под влиянием трёх ключевых факторов, связанных с цифровизацией: доступность и качество цифровых инструментов (BIM, IoT), прозрачность процессов принятия решений, эффективность обратной связи с участниками строительного процесса [15, 16].

Цифровая трансформация наряду с возможностями создаёт и значительные барьеры для регионов, которые могут быть систематизированы в табл. 1.

Таблица 1

Основные барьеры цифровой трансформации строительной отрасли и механизмы их преодоления

Барьер	Характер проявления	Механизмы преодоления
Высокая стоимость внедрения	Значительные инвестиции в ПО, оборудование, инфраструктуру	Целевые программы субсидирования, государственно-частное партнёрство, налоговые льготы [4, 6, 19]
Дефицит квалифицированных кадров	Нехватка BIM-менеджеров, специалистов по анализу данных, интеграторов	Развитие системы профессионального образования, программы переподготовки, микроквалификации [2]
Сопротивление изменениям	Консерватизм строительных компаний, опасения потери рабочих мест	Информационно-разъяснительная работа, демонстрация успешных кейсов, поэтапное внедрение [4]
Интеграция с устаревшими системами	Проблемы совместимости нового и старого ПО, необходимость миграции данных	Разработка стандартов совместимости, поэтапный переход, использование открытых API [6]
Кибербезопасность	Утечки данных о проектах, угрозы хакерских атак на IoT-инфраструктуру	Внедрение стандартов информационной безопасности, регулярный аудит, страхование киберрисков
Отсутствие региональных стандартов	Не разработаны обязательные требования к BIM-моделям на уровне субъекта РФ	Разработка региональных стандартов BIM, гармонизация с федеральными требованиями [7]

Источник: составлено автором на основе [4, 11, 12].

Глубокий разрыв между регионами в уровне цифровизации строительного сектора создаёт технологический «цифровой разрыв»: отстающие регионы воспринимаются как депрессивные и неэффективные для реализации инвестиционно-строительных проектов [4]. Как отмечает Д.О. Гулюкин, «критическими факторами отставания являются инфраструктурные ограничения и дефицит человеческого капитала. В регионах-аутсайдерах обеспеченность ИТ-специалистами в 4-5 раз ниже, чем в регионах-лидерах» [7]. Утечки данных, сбои в работе информационных систем, кибератаки наносят прямой ущерб репутации строительных компаний и региональных органов власти. Особую тревогу вызывает риск «цифрового театра» – внедрения цифровых решений без реального улучшения качества строительства, что может привести к росту недовольства участников строительного процесса и снижению доверия к отрасли [4].

Разработанная технология управления цифровой трансформацией строительной отрасли региона включает семь последовательных этапов, адаптированных к специфике регионального строительного сектора на основе технологической модели Construction 4.0.

Этап 1. Теоретическая подготовка. Определение понятийного аппарата, выбор критериев оценки цифровой зрелости, адаптация методологии к специфике региона. На данном этапе формируется перечень компонентов цифровой трансформации строительного сектора с учётом отраслевых особенностей: технологический потенциал, кадровый потенциал, нормативно-правовая среда, инфраструктурная готовность [4, 7].

Этап 2. Анализ региональной документации. Изучение стратегии социально-экономического развития региона, программ цифровой трансформации строительной отрасли, дорожных карт внедрения BIM-технологий, отчётов о реализации национального проекта «Цифровая экономика» и федерального проекта «Государство для людей» [9, 11, 20].

Этап 3. Мониторинг цифровой зрелости строительного сектора. Анализ осуществляется по следующим направлениям:

– уровень внедрения BIM-технологий в проектных организациях и строительных компаниях [17];

– применение IoT-решений на строительных площадках (мониторинг техники, контроль качества, охрана труда) [10];

– использование систем искусственного интеллекта для прогнозирования рисков и оптимизации графиков [18];

– наличие цифровых двойников для управления эксплуатацией объектов [18];

– уровень цифровой грамотности и квалификации кадров строительной отрасли [2].

Этап 4. Социологический опрос стейкхолдеров. Проведение анкетирования с целью выявления степени удовлетворённости различными аспектами цифровой трансформации строительного сектора. В опросе участвуют: представители строительных компаний (крупные холдинги, малые и средние предприятия), заказчики строительства (государственные и муниципальные органы, частные инвесторы), регулирующие органы (Минстрой, Госстройнадзор), образовательные учреждения [14, 16].

Этап 5. Анализ внешней среды. Проведение PEST-анализа и SWOT-анализа для выявления политических, экономических, социальных и технологических факторов, влияющих на цифровую трансформацию строительной отрасли. Оценка позиций региона в национальных рейтингах цифровой трансформации [12].

Этап 6. Приоритизация интересов стейкхолдеров. Выявление проблемных зон и точек роста, определение противоречий между ожиданиями различных групп стейкхолдеров, формирование перечня приоритетных направлений для ускорения цифровой трансформации строительного сектора через внедрение технологий Индустрии 4.0 [2, 6].

Этап 7. Оценка эффективности. Анализ технологических, экономических и социальных показателей проведённых мероприятий, мониторинг динамики рейтинговых позиций, анализ изменения показателей удовлетворённости стейкхолдеров [12, 15].

На основе проведённого анализа выделены три взаимосвязанных механизма управления цифровой трансформацией строительной отрасли региона.

Механизм 1 – внедрение BIM на всех этапах жизненного цикла объекта. Применение BIM-технологий позволяет сократить сроки проектирования на 20–30%, количество ошибок – на 40–50%, эксплуатационные затраты – на 15–25% [1, 17]. В Республике Татарстан реализуются пилотные проекты по созданию цифровых двойников социально значимых объектов [14]. Реализация механизма требует: разработки региональных BIM-стандартов, введения обязательных требований к BIM для госзаказчиков и создания регионального центра компетенций [7].

Механизм 2 – развитие цифровых платформ для мониторинга и управления строительными проектами. Как показывает опыт Татарстана, цифровизация позволяет сократить сроки получения разрешительной документации с месяцев до нескольких дней [10]. Ключевые элементы: интеграция систем управления проектами, внедрение IoT-решений, оперативное реагирование на отклонения и публичная отчётность [6, 10, 14].

Механизм 3 – формирование экосистемы открытых данных и прозрачности строительного сектора. Прозрачность деятельности компаний и регулирующих органов – основа долгосрочного доверия к отрасли [15]. Механизм включает: публикацию открытых данных о проектах и госзакупках, общественный контроль через цифровые инструменты, внедрение рейтингов цифровой зрелости [7, 12].

Выводы

В процессе исследования установлено, что цифровая трансформация строительной отрасли оказывает значительное влияние на конкурентоспособность региона, выступая как фактор повышения эффективности строительного сектора (при успешной реализации цифровых инициатив), так и источник барьеров (при усилении технологического неравенства, дефиците квалифицированных кадров или формальном подходе к цифровизации) [2, 4].

Теоретический анализ позволил обосновать взаимосвязь между уровнем цифровой зрелости строительного сектора региона и его экономической эффективностью [1, 7]. Эмпирическое исследование на основе данных рейтингов цифровой трансформации субъектов РФ за 2024-2025 гг. выявило устойчивую корреляцию между эффективностью цифровизации строительства и темпами ввода жилья, снижением инвестиционно-строительного цикла и ростом удовлетворённости граждан качеством строительства [9-12].

Выделены четыре основных канала влияния цифровизации на строительный сектор региона: качество проектирования и управления данными, прозрачность и контроль, оперативный мониторинг и обратная связь, эффективность управления ресурсами. Показано, что регионы-лидеры цифровой трансформации успешно используют эти каналы для формирования устойчивого конкурентного преимущества [1, 3, 12].

На основе анализа лучших практик предложены три взаимосвязанных механизма управления цифровой трансформацией строительной отрасли региона через внедрение технологий Индустрии 4.0: внедрение информационного моделирования (BIM) на всех этапах жизненного цикла объекта; развитие цифровых платформ для мониторинга и управления строительными проектами на основе IoT-решений и интеграции систем; формирование экосистемы открытых данных и прозрачности строительного сектора [2, 6].

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной технологии управления цифровой трансформацией строительной отрасли региона, учитывающей специфику технологической среды и интегрирующей принципы Construction 4.0. В отличие от существующих работ, предлагаемая технология включает не только анализ статичных элементов цифровой зрелости, но и динамические параметры: скорость внедрения технологий, глубину интеграции систем, уровень цифровой компетентности персонала, индексы удовлетворённости стейкхолдеров [2, 4, 15].

Практическая значимость исследования заключается в том, что предложенная технология может быть адаптирована для любых регионов, стремящихся повысить конкурентоспособность своего строительного сектора в условиях цифровой экономики. Полученные результаты могут быть использованы руководителями региональных органов власти, строительными компаниями и научными учреждениями при разработке и реализации программ цифровой трансформации строительной отрасли [9, 11, 14].

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка методик количественной оценки эффективности цифровизации строительства на региональном уровне; изучение влияния институциональных факторов на скорость и качество цифровой трансформации строительного сектора; исследование взаимосвязи между уровнем цифровой зрелости строительных компаний и их экономической эффективностью; анализ эффективности применения технологий искусственного интеллекта в управлении строительными проектами и мониторинге рисков [2, 18].

Список литературы

1. McKinsey & Company. The next normal in construction. McKinsey Report. 2020. 90 p.

2. Siriwardhana S.D., Moehler R.C., Fang Y. Construction 4.0 in Australia: Evaluating technological implementation, organisational adaptation and skills development // Journal of Innovation and Knowledge. 2025. Vol. 10, Iss. 6. Art. 100822. DOI: 10.1016/j.jik.2025.100822.

3. Deloitte. Digital transformation in construction. Deloitte Insights. 2021. 15 p.

4. Султанова Э. А., Алиев М. А. Цифровой менеджмент в региональной политике: барьеры и риски трансформации социально-экономических систем // Журнал прикладных исследований. 2026. Спец. № 1. С. 187–194. https://doi.org/10.26118/2096.2025.16.80.026

5. PwC. PwC's Construction Industry Vision 2025: Towards a digital future. 2019. 20 p.

6. Nik Azman N.M.S., Abdull Rahman S.H. Enhancing IR4.0 technologies implementation in construction projects in Selangor // AIP Conference Proceedings. 2025. Vol. 3322, Iss. 1. Art. 060012. DOI: 10.1063/5.0292121.

7. Гулюкин Д. О. Совершенствование механизмов цифровой трансформации государственного управления на региональном уровне: проблемы и перспективы // Siberian Journal of Economic and Business Studies. 2025. Т. 14, № 4. С. 63–90.

8. Vrabie C. E-Government and Integrity in Romania – Challenges of Digital Transformation and Public Trust // Student Papers on Smart Cities and E-Governance (SPoSC&EGOV) Repository. 2009. https://doi.org/10.2139/SSRN.2233349

9. Сахалинская область удостоена награды за первое место в рейтинге субъектов Российской Федерации по внедрению принципов и стандартов клиентоцентричности // Анива-Утро. 2024. 21 октября. – URL: https://aniva-utro.ru/news/vremya-mestnoe/2024-10-21/sahalinskaya-oblast-udostoena-nagrady-443898 (дата обращения: 17.08.2026).

10. Иркутская область – среди лучших по клиентоцентричности // Областная газета. 2026. 24 апреля. – URL: https://www.ogirk.ru/2026/04/24/irkutskaja-oblast-sredi-luchshih-po-klientocentrichnosti/ (дата обращения: 18.08.2026).

11. Ульяновская область вошла в пятёрку лучших регионов по внедрению стандартов клиентоцентричности // Многофункциональные центры Ульяновской области. 2024. 26 декабря. – URL: https://mfc.ulgov.ru/pages/news/004/finombudsman.ru?ELEMENT_ID=351908#1 (дата обращения: 17.08.2026).

12. Какие регионы стали лучшими в рейтинге оказания цифровых госуслуг // Университет ИТМО. 2025. 17 сентября. – URL: https://news.egov.itmo.ru/25-09-17-622.html (дата обращения: 30.07.2026).

13. Rosmala, Salman A. Public Trust Recovery: the Role of Digital Government Public Relations and AI-Assisted Crisis Communication // INJECT (Interdisciplinary Journal of Communication). 2026. Vol. 11, № 1. P. 227–248. https://doi.org/10.18326/inject.v11i1.6096

14. Государство в интернете: управление общественным мнением через контент и диалог // Казанский (Приволжский) федеральный университет. 2026. 27 марта. URL: https://kpfu.ru/isfnmk/gosudarstvo-v-internete-upravlenie-obschestvennym.html (дата обращения: 29.07.2026).

15. Mangai M. S., Ayodele A. A. Reimagining Public Service Delivery: Digitalising Initiatives for Accountability and Efficiency // Administrative Sciences. 2025. Vol. 15. Iss. 12. 477. https://doi.org/10.3390/admsci15120477

16. Rosmala, Salman A. Public Trust Recovery: the Role of Digital Government Public Relations and AI-Assisted Crisis Communication // INJECT (Interdisciplinary Journal of Communication). 2026. Vol. 11, № 1. P. 227–248. https://doi.org/10.18326/inject.v11i1.6096

17. Алексеева, Т. Р. BIM-технологии и искусственный интеллект в инфраструктурном строительстве / Т. Р. Алексеева // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2022. – №1 (1049). – С. 52-54.

18. Озбеков, Н. Цифровые двойники в строительстве: использование искусственного интеллекта для моделирования и управления зданиями / Н. Озбеков // COGNITIO RERUM. – 2024. – №12. – С. 222-224.

19. Степанов, А. В. Высокая стоимость внедрения цифровых технологий в строительстве регионов / А. В. Степанов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – №3. – С. 45-52.

20. Министерство экономического развития Новосибирской области в лидерах по реализации проекта «Государство для людей» в регионе // Министерство экономического развития Новосибирской области. – 2025. – 24 декабря. – URL: https://econom.nso.ru/news/5438 (дата обращения: 18.08.2026).

УДК 004.89+681.51

ОБУЧЕНИЕ RBF-НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ НАСТРОЙКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕПЛОВЫМ ОБЪЕКТОМ СО СЛУЧАЙНЫМ ВАРЬИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ

Ибрахим Махмуд Мохаммед Омар Абделрехим, аспирант;
ORCID: 0009-0006-6696-9617,
E-mail: mahmodmohamed7767@gmail.com;
Невзорова О.А., к.т.н., доцент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-8116-9446;
E-mail: onevzoro@gmail.com

RBF-NEURAL NETWORK TRAINING FOR ADAPTIVE SETTING OF INDUSTRIAL COEFFICIENTS PID-REGULATOR FOR THE MANAGEMENT OF A THERMAL OBJECT WITH RANDOM VARIATION OF PARAMETERS

Ibrahim Mahmoud Mohamed Omar Abdelrehim, PhD student;
ORCID: 0009-0006-6696-9617,
E-mail: mahmodmohamed7767@gmail.com;
Nevzorova O.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-8116-9446;
E-mail: onevzoro@gmail.com

Аннотация

В работе рассматривается методика обучения радиально-базисной (RBF) нейронной сети для адаптивной настройки коэффициентов промышленного пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора тепловым объектом. В отличие от подхода, при котором сеть обучается для одного объекта с заранее известными параметрами, в настоящей работе обучение выполняется на множестве случайно генерируемых объектов с коэффициентом усиления K в диапазоне от 0.4 до 1.7 и постоянной времени T в диапазоне от 2.5 до 13.0 минут, что соответствует стратегии рандомизации параметров объекта и направлено на повышение обобщающей способности сети применительно к объектам, параметры которых заранее неизвестны. На вход RBF-сети архитектуры 6-12-3 подаётся шестимерный вектор состояния системы, включающий ошибку регулирования, её нормированный интеграл, производную ошибки, текущий выход объекта, уставку и величину внешнего возмущения. Обучение выполняется методом обратного распространения ошибки с оптимизатором Adam на аддитивно-взвешенной функции потерь, учитывающей ошибку регулирования, энергию управляющего воздействия, величину перерегулирования и скорость изменения ошибки; в работе приводится обоснование выбора весовых коэффициентов функции потерь и количества радиально-базисных центров сети. Работоспособность обученной сети проверена на тестовом объекте с параметрами K=0.72, T=7.5 минут, не встречавшемся в процессе обучения. Показано, что RBF-адаптивный регулятор снижает интегральную абсолютную ошибку регулирования на 31.4% и уменьшает перерегулирование по сравнению с фиксированным ПИД-регулятором со стандартными коэффициентами, приближаясь по качеству переходного процесса к регулятору с коэффициентами, оптимально подобранными для данного конкретного объекта. Полученные результаты подтверждают целесообразность рандомизации параметров объекта при обучении нейросетевых адаптационных модулей для задач автоматической настройки промышленных регуляторов в условиях параметрической неопределённости.

Ключевые слова: адаптивное управление, ПИД-регулятор, RBF-нейронная сеть, рандомизация параметров объекта, обобщающая способность, тепловой объект, функция потерь, оптимизатор Adam, параметрическая неопределённость, автоматическая настройка регулятора

Abstract

The paper addresses a training methodology for a radial basis function (RBF) neural network used for adaptive tuning of an industrial proportional-integral-derivative (PID) controller for a thermal object. Unlike an approach in which the network is trained for a single plant with a priori known parameters, the proposed methodology trains the network on a set of randomly generated plants with gain K in the range 0.4-1.7 and time constant T in the range 2.5-13.0 minutes, following a plant-parameter randomization strategy aimed at improving the generalization ability of the network for plants with unknown parameters. A six-dimensional state vector, comprising the control error, its normalized integral, its derivative, the current plant output, the setpoint and the external disturbance, is fed to an RBF network with a 6-12-3 architecture. The network is trained by backpropagation with the Adam optimizer using an additively weighted loss function accounting for the control error, control energy, overshoot and error derivative; the choice of the loss weights and the number of RBF centers is substantiated. The trained network was validated on a test plant with K=0.72, T=7.5 minutes not seen during training. The RBF-adaptive controller reduces the integral absolute error by 31.4% and decreases overshoot compared with a fixed PID controller with standard coefficients, approaching the transient-response quality of a controller with coefficients optimally tuned for the given plant. The results confirm the feasibility of plant-parameter randomization for training neural adaptation modules intended for automatic tuning of industrial controllers under parametric uncertainty. The methodology is designed for industrial control ap-

plications in which accurate plant parameters are unavailable or may vary during operation, while the PID controller remains the main feedback element and the neural network acts as an adaptive parameter-correction module.

Keywords: adaptive control, PID controller, RBF neural network, domain randomization, generalization, thermal object, loss function, Adam optimizer, parametric uncertainty, automatic controller tuning

Введение

Промышленные ПИД-регуляторы остаются основным средством автоматизации технологических процессов благодаря простоте настройки, невысокой вычислительной сложности и высокой надёжности в реальном времени [1]. Задача поддержания требуемого качества регулирования при изменении динамических характеристик объекта решается на практике в том числе нейросетевыми методами – в частности, для адаптивного управления нагревательными объектами [2] и электромеханическими приводами [3]. Вместе с тем коэффициенты регулятора, как правило, подбираются для номинального режима работы объекта и не изменяются при отклонении параметров объекта от расчётных значений, что, согласно классическим положениям теории автоматического управления, приводит к ухудшению качества регулирования при вариации коэффициента усиления и постоянной времени объекта, а также при возникновении внешних возмущений [4].

Одним из направлений решения данной проблемы является применение искусственных нейронных сетей, которые по своей природе способны аппроксимировать сложные нелинейные зависимости и адаптироваться к изменяющимся условиям функционирования объекта [5]. При этом ключевым фактором, определяющим практическую применимость нейросетевого адаптационного модуля, является его способность к обобщению – то есть сохранению работоспособности на объектах, параметры которых не совпадают с использованными при обучении. В большинстве известных работ, посвящённых построению нейросетевых ПИД-регуляторов, модуль обучается и проверяется для объекта с фиксированными, заранее известными параметрами [6], что не позволяет судить об устойчивости полученного решения к параметрической неопределённости.

Целью настоящей работы является разработка и апробация методики обучения радиально-базисной (RBF) нейронной сети для адаптивной настройки коэффициентов промышленного ПИД-регулятора, основанной на случайной вариации параметров объекта управления непосредственно в процессе обучения (стратегия рандомизации параметров объекта), а также исследование обобщающей способности полученной модели на объекте, параметры которого не участвовали в обучении.

Методика

Модель объекта управления

Тепловой объект описывается апериодическим звеном первого порядка. Параметры передаточной функции (1) идентифицированы ранее по экспериментальной переходной характеристике [7]:

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1}, \quad (1)$$

где K, T – коэффициент усиления и постоянная времени объекта соответственно. При обучении сети параметры K и T не фиксировались, а генерировались случайно и независимо для каждого эпизода обучения с равномерным распределением: K[0.4; 1.7], T[2.5; 13.0] минут. Такой подход, в отличие от обучения на единственном номинальном объекте, вынуждает сеть находить не частное, а обобщённое отображение состояния системы в коэффициенты регулятора, устойчивое к изменению динамических свойств объекта.

Промышленный ПИД-регулятор

Базовый закон регулирования описывается выражением (2):

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

где $e(t) = r(t) - y(t)$ – ошибка регулирования; $r(t)$ – уставка. В реализации регулятора дополнительно учтены типовые для промышленных контроллеров элементы: пропорциональная составляющая формируется по взвешенной уставке (весовой коэффициент β=0.45) для снижения броска управляющего воздействия при скачке уставки; дифференциальная составляющая вычисляется по выходу объекта, а не по ошибке, и сглаживается экспоненциальным фильтром, что снижает чувствительность к измерительному шуму; интегральная составляющая ограничивается насыщением (±10) для предотвращения интегрального перенасыщения (anti-windup); скорость изменения управляющего воздействия ограничивается величиной ±1 за шаг дискретизации. Данные меры отражают типовую практику построения промышленных ПИД-регуляторов [1, 4].

Архитектура RBF-сети

На вход сети подаётся шестимерный вектор состояния системы $X = \left[e(t), \dot{e}(t), 0.05 \int_0^t e(t)\right) dt, y(t), r(t), d(t)]$ включающий, помимо ошибки регулирования и её интеграла и производной, также текущий выход объекта, уставку и оценку внешнего возмущения. Расширение входного вектора по сравнению с классической схемой (ошибка, интеграл, производная) позволяет сети косвенно учитывать режим работы объекта (переходный процесс, установившийся режим, действие возмущения) при формировании коэффициентов регулятора.

Скрытый слой содержит N=12 нейронов с радиально-базисной функцией активации Гаусса (3):

$$\varphi_i(x) = exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right), \quad (3)$$

где c_i – центр i-й радиальной функции; σ_i – параметр ширины, оба являются обучаемыми параметрами сети наравне с весами выходного слоя. Выход сети формируется линейной комбинацией активаций скрытого слоя с последующим преобразованием функцией softplus и масштабированием коэффициентами (12; 5; 4), что гарантирует неотрицательность и ограниченность сверху формируемых коэффициентов Kp(0;12), Ki(0;5), Kd(0;4) – диапазоны выбраны с запасом относительно коэффициентов, полученных при настройке базового ПИД-регулятора для номинального объекта.

Число радиально-базисных центров (N=12) выбрано эмпирически по результатам серии вычислительных экспериментов как компромисс между точностью аппроксимации нелинейной зависимости коэффициентов регулятора от состояния системы и риском переобучения при ограниченном числе обучающих траекторий; аналогичный эмпирический подход к выбору структурных гиперпараметров RBF-сети применяется и в других работах [8,10].

Функция потерь и алгоритм обучения

Обучение сети выполняется методом обратного распространения ошибки с оптимизатором Adam, применяемым также в других работах по автоматической настройке ПИД-регуляторов средствами машинного обучения [9], на аддитивно-взвешенной функции потерь (4):

$$J = 2.5e^2 + 0.004u^2 + 7M_p^2 + 0.001\dot{e}^2, \quad (4)$$

где Mp – величина текущего перерегулирования. Весовые коэффициенты подобраны экспериментально: 2.5 – при квадрате ошибки регулирования, чтобы точность слежения оставалась приоритетным критерием; 0.004 – при квадрате управляющего воздействия для ограничения энергозатрат на управление без подавления полезного сигнала; 7.0 – при квадрате перерегу-

лирования для его целенаправленного подавления; 0.001 – при квадрате производной ошибки для сглаживания переходного процесса. Аддитивная свёртка частных критериев является стандартным приёмом сведения многокритериальной задачи к скалярной, допускающей применение градиентных методов обучения [9].

Обучение выполняется на протяжении Nep=1500 эпизодов; для каждого эпизода случайным образом задаются параметры объекта K, T, после чего моделируется переходный процесс длительностью Tsim=120 с с шагом дискретизации Δt=0.1 с, включающий линейный «мягкий старт» уставки в течение первых 12 с и внешние возмущения (+0.18 при t>45 с, −0.12 при t>80 с). Накопленный по эпизоду градиент функции потерь ограничивается по норме (clip=1.0) для устойчивости обучения, скорость обучения принята η=0.0005, добавлена L2-регуляризация весов (weight decay=$1\cdot10^{-5}$). Основные гиперпараметры методики и их обоснование сведены в табл. 1.

Таблица 1

Гиперпараметры обучения RBF-сети

Гиперпараметр	Значение	Обоснование выбора
Число RBF-центров, N	12	эмпирический компромисс точность/переобучение
Число эпизодов обучения, Nep	1500	стабилизация функции потерь
Скорость обучения, η	0.0005	устойчивая сходимость Adam без осцилляций
Шаг дискретизации, Δt	0.1 с	разрешение переходного процесса объекта
Диапазон K при обучении	[0.4; 1.7]	рандомизация параметров объекта
Диапазон T при обучении	[2.5; 13.0] мин	рандомизация параметров объекта

Основная часть

Для проверки обобщающей способности обученной сети использовался тестовый объект с параметрами K=0.72, T=7.5 минут, отсутствовавший в процессе обучения. Проводилось сравнение трёх вариантов регулятора: фиксированного ПИД со стандартными коэффициентами; RBF-адаптивного ПИД; фиксированного ПИД с коэффициентами, оптимальными для данного конкретного объекта и подобранными путём усреднения выходов RBF-сети на последних 35% времени моделирования, когда переходные процессы уже завершились. Последний вариант использован как верхняя граница достижимого качества регулирования при заранее известных параметрах объекта и позволяет оценить, насколько близко RBF-адаптивный регулятор, не располагающий такой информацией заранее, приближается к этой границе.

Средние установившиеся значения коэффициентов, сформированные RBF-сетью для тестового объекта, составили Kp=9.19, Ki=2.74, Kd=3.08. Качество регулирования оценивалось по интегральной абсолютной ошибке (IAE, формула 5), интегральной квадратичной ошибке (ISE), величине перерегулирования, времени установления переходного процесса (вход в 2%-ную зону уставки) и энергии управляющего воздействия.

$$IAE = \int_0^T |e(t)|dt\,. \qquad (5)$$

Результаты сравнения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение показателей качества регулирования на тестовом объекте

Метрика	Fixed PID	RBF Adaptive PID	Optimal Fixed PID
IAE	11.81	8.10	3.15
ISE	5.57	5.30	1.30
Перерегулирование	0.040	0.028	0.023
Время установления, с	113.5	87.4	86.9
Энергия управления, у.е.^{2}·с	393.0	424.2	462.1

Как следует из таблицы 2, RBF-адаптивный регулятор снижает IAE с 11.81 до 8.10 (на 31.4%) и уменьшает перерегулирование с 0.040 до 0.028 по сравнению с фиксированным ПИД со стандартными коэффициентами, сокращая время установления переходного процесса со 113.5 до 87.4 с – практически до уровня, достигаемого регулятором с оптимальными для данного объекта коэффициентами (86.9 с). При этом энергия управления у RBF-адаптивного регулятора (424.2) оказывается выше, чем у стандартного фиксированного ПИД (393.0), что естественно объясняется более активной отработкой возмущений и более быстрым переходным процессом, и остаётся ниже, чем у оптимального фиксированного регулятора (462.1).

Существенно, что параметры тестового объекта (K=0.72, T=7.5) не совпадают ни с одним значением, использованным при обучении, а лежат внутри диапазона случайной генерации параметров. Полученное приближение качества регулирования к показателям оптимального фиксированного регулятора без предварительного знания параметров объекта подтверждает, что предложенная методика обучения на случайно варьируемых параметрах объекта обеспечивает содержательную интерполяционную обобщающую способность RBF-сети в пределах диапазона рандомизации, использованного при обучении.

Выводы

1. Предложена методика обучения RBF-нейронной сети для адаптивной настройки коэффициентов промышленного ПИД-регулятора, основанная на случайной вариации параметров теплового объекта (коэффициента усиления и постоянной времени) в процессе обучения, в отличие от традиционного обучения для единственного номинального объекта.

2. Дано обоснование выбора ключевых гиперпараметров методики – числа радиально-базисных центров, весовых коэффициентов функции потерь и параметров оптимизатора – на основе результатов вычислительных экспериментов.

3. Показано, что обученная сеть сохраняет работоспособность на тестовом объекте, параметры которого не встречались при обучении: интегральная абсолютная ошибка снижается на 31.4%, перерегулирование – на 30% по сравнению с фиксированным ПИД-регулятором со стандартными коэффициентами, а показатели качества приближаются к теоретически достижимому уровню, соответствующему регулятору с оптимальными для данного объекта коэффициентами.

4. Результаты подтверждают целесообразность использования рандомизации параметров объекта при обучении нейросетевых адаптационных модулей для решения задач автоматической настройки промышленных ПИД-регуляторов в условиях параметрической неопределённости; направлением дальнейших исследований является расширение диапазона рандомизации и проверка экстраполяционной способности сети за его пределами.

Список литературы

1. Астахов, В. С. Теория автоматического управления: учебник / В. С. Астахов. – Москва: Академия, 2019. – 352 с.

2. Абдуракипов, С. С. О методе управления нагревателем с помощью нейронных сетей / С. С. Абдуракипов, Е. Б. Бутаков // Автометрия. – 2024. – Т. 60, № 2. – С. 68–77. – DOI: 10.15372/AUT20240213.

3. Белов, М. П. Синтез ПИД-регулятора самонастраивающейся нелинейной системы управления электропривода экзоскелета с помощью нейронной сети / М. П. Белов, Д. Д. Чьюнг // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». – 2021. – № 6. – С. 12–20. – ISSN 2071-8985.

4. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления: учебник / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Москва : Наука, 2019. – 747 с. – ISBN 978-5-02-005083-5.

5. Головко, В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение: учебное пособие / В. А. Головко. – Москва : Радиотехника, 2018. – 256 с. – ISBN 5-93108-009-4.

6. Жилов, Р. А. Постройка ПИД-регулятора с использованием нейронных сетей / Р. А. Жилов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 5 (109). – С. 38–47. – DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-38-47.

7. Ибрахим, М. М. О. А. Идентификация теплового объекта и построение математической модели для задач адаптивного управления / М. М. О. А. Ибрахим, О. А. Невзорова. – 2025. – [в печати].

8. Чибисов, А. В. Автоматическая настройка ПИД-регулятора с применением машинного обучения для обеспечения стабильной работы автономных электронных систем при термоциклировании / А. В. Чибисов, А. Г. Попов, Н. А. Мозговой, В. А. Пиджаков, С. А. Ульянов // Труды Московского физико-технического института. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 150–161. – ISSN 2072-7643.

9. Aggarwal, C. C. Neural Networks and Deep Learning: A Textbook / C. C. Aggarwal. – Cham: Springer, 2018. – 497 p. – ISBN 978-3-319-94462-3.

10. Zhang, Y. Structural parameter optimization of RBF neural network based on improved genetic algorithm and cost function model / Y. Zhang, L. Wang, H. Li // Advances in Mechanical Engineering. – 2024. – Vol. 16, № 2. – DOI: 10.1177/16878132241234567.

УДК 336.71

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ БАНКОВСКОГО СЕРВИСА ЧЕРЕЗ ЦИФРОВУЮ ТРАНСФОРМАЦИЮ ПРОЦЕССА РАБОТЫ С ПРЕТЕНЗИЯМИ

Иванова А.В., магистрант факультета менеджмента и инженерного бизнеса;
ORCID: 0009-0000-1255-5650;
E-mail: nastaivanova123456789@gmail.com;
Репина Ю.А., к.с.н., доцент кафедры цифровой экономики и управления качеством ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова (ИЭУП)», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1957-8876

QUALITY MANAGEMENT OF BANKING SERVICE THROUGH DIGITAL TRANSFORMATION OF THE COMPLAINTS HANDLING PROCESS

Ivanova A.V., Master's student, Faculty of Management and Engineering Business;
ORCID: 0009-0000-1255-5650;
E-mail: nastaivanova123456789@gmail.com;
Repina Yu.A., PhD in Sociology, Associate Professor of the Department of Digital Economics and Quality Management, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1957-8876

Аннотация

В статье рассматривается, как цифровая трансформация влияет на качество банковского обслуживания через совершенствование работы с претензиями клиентов. На основе анализа текущего состояния процесса (AS-IS) и данных бенчмарк-исследований Frank RG были выявлены основные недостатки существующей модели: разобщённость каналов, длительные сроки рассмотрения обращений и высокая нагрузка на подразделения бэк-офиса.

Автором рассмотрена целевая модель (TO-BE), которая предполагает глубокую интеграцию цифровых каналов, внедрение интеллектуальной маршрутизации обращений, речевой аналитики и автоматизированных правил принятия решений. Показано, что переход на такую модель позволяет сократить средний срок рассмотрения претензий до 3–4 дней, снизить количество контактов с клиентом до 1,8–2,4 и довести долю обращений, решаемых с первого раза, до 97%. Отдельное внимание уделено управленческим рискам внедрения, включая кадровые, технологические и регуляторные аспекты. В заключение делается вывод, что цифровая трансформация процесса работы с претензиями является не только способом повышения операционной эффективности, но и важным стратегическим инструментом повышения конкурентоспособности банка.

Ключевые слова: управление качеством, банковский сервис, цифровая трансформация, претензионная работа, клиентский опыт, искусственный интеллект, автоматизация, FCR, речевая аналитика, управленческие риски

Abstract

The article examines how digital transformation affects the quality of banking services through the improvement of customer claims processing. Based on the analysis of the current state of the process (AS-IS) and benchmark research data, Frank RG identified the main drawbacks of the existing model: the fragmentation of channels, long processing times, and high workload on back-office departments.

The author proposes a target model (TO-BE), which involves deep integration of digital channels, the introduction of intelligent routing of requests, speech analytics, and automated decision-making rules. It is shown that the transition to such a model allows to reduce the average time for processing claims to 3-4 days, reduce the number of customer contacts to 1,8-2,4, and increase the share of requests resolved on the first contact to 97%. Special attention is paid to the management risks of implementation, including personnel, technological, and regulatory aspects. In conclusion, it is concluded that the digital transformation of the claims processing process is not only a way to improve operational efficiency, but also an important strategic tool for increasing the bank's competitiveness.

Keywords: quality management, banking services, digital transformation, claims processing, customer experience, artificial intelligence, automation, FCR, speech analytics, and management risks

Введение

Настоящее качество банковского сервиса проявляется именно тогда, когда у клиента возникает проблема. Можно предлагать выгодные условия и красивые проценты, но всё это теряет смысл, если человека заставляют по кругу рассказывать одну и ту же историю, его перекидывают между отделами, а сотрудники дают противоречивые ответы. Поэтому оценивать работу банка только по соблюдению внутренних регламентов и контрольных сроков недостаточно.

Претензии клиентов – это один из лучших индикаторов реальных сбоев в работе. Они показывают то, что обычно не попадает в стандартную отчётность: ошибки при проведении операций, потерю информации между каналами и формальные ответы, которые закрывают обращение «по бумагам», но не решают саму проблему клиента [7, 8]. Мобильные приложения и чаты сильно упростили подачу претензий. Однако внутренняя обработка этих обращений во многих банках меняется гораздо медленнее. Заявку могут принять за пару минут, но её

дальнейшее рассмотрение часто превращается в долгое хождение по подразделениям из-за ручной маршрутизации [11].

Цель данной статьи – показать, как цифровые инструменты могут по-настоящему изменить работу банка с претензиями. Разберем, как устроен текущий процесс, как его можно перестроить, по каким критериям оценивать результат и какие риски появляются при автоматизации.

1. Качество банковского сервиса как фактор конкурентоспособности

Сегодня качество обслуживания стало таким же важным конкурентным преимуществом, как и цена продуктов [2, с. 56]. Клиенты оценивают банковские услуги по нескольким очевидным критериям: скорости, доступности каналов, точности операций и надёжности. Однако в реальности они воспринимают сервис не по отдельным пунктам, а как общее впечатление от взаимодействия с банком – от первого клика в приложении до решения возникшей проблемы. Даже одна серьёзная ошибка может сильно испортить это впечатление, особенно если клиенту приходится по несколько раз обращаться за её исправлением [3].

Работа с претензиями – хороший индикатор того, насколько слаженно работают внутренние процессы банка. Когда у клиента возникает спорная ситуация, он обращает внимание на три вещи: как быстро банк отреагировал, что ответил и чем всё закончилось. Если проблему не решили с первого раза, человеку снова приходится объяснять суть дела, собирать и отправлять документы или обращаться через другой канал. Для таких случаев часто используют показатель First Contact Resolution (FCR) – долю обращений, которые удалось закрыть при первом контакте [10, p. 349].

Важно понимать разницу между претензией и жалобой. В претензии клиент обычно требует восстановить его права, пересмотреть результат операции или компенсировать потери. Жалоба чаще касается некомфортного обслуживания, действий сотрудника или неудобной организации процессов. На практике чёткую границу провести не всегда удаётся, но для банка это различие принципиально. Претензия требует тщательной проверки фактов, документов и часто привлечения нескольких подразделений. Жалоба в первую очередь сигнализирует о проблемах в клиентском опыте [7, 8].

По данным за первое полугодие 2025 г., 64% всех обращений в банки составляли именно претензии. Это на 3 процентных пункта выше, чем за тот же период годом ранее [9]. Почти 87% обращений было связано с карточными продуктами [7]. Такая высокая доля объясняется массовым использованием карт и огромным количеством операций. Однако дело не только в масштабе. Часть претензий возникает из-за того, что условия продуктов, тарифы и комиссии сформулированы неясно.

Особенно полезны повторяющиеся претензии – они выявляют системные проблемы, которые обычно не видны в стандартной отчётности. Это могут быть запутанные условия продукта, неправильная маршрутизация обращений, потеря информации между каналами или формальные ответы, которые «закрывают» обращение, но не устраняют причину проблемы. Поэтому цифровизация работы с претензиями не должна ограничиваться только быстрым приёмом и формированием ответа. Главное – использовать данные из обращений, чтобы находить повторяющиеся сбои и реально улучшать банковские процессы [1, 2].

2. Анализ текущего процесса работы с претензиями (AS-IS)

Чтобы понять, где можно применить цифровые инструменты, нужно сначала чётко зафиксировать текущее состояние процесса. Ниже в таблице 1 приведены сводные данные за 2023–2025 гг., основанные на бенчмарк-исследованиях Frank RG.

Данные таблицы 1 показывают устойчивый переход клиентов от голосовых и офлайн-каналов к цифровым. Доля обращений через колл-центр снизилась с 45% в конце 2023 г. до 35,3% во втором полугодии 2025-го. За это же время доля чатов выросла с 19% до 35,6%. Особенно заметно сократилось использование отделений – с 24% до 7,9%. Клиенты явно предпочитают решать вопросы дистанционно [7, 8, 9].

Таблица 1

Распределение претензионных обращений по каналам поступления (доля в общем объёме) за 2023-2025 гг., % [7, 8, 9]

Канал	2023 г. (IV кв.)	2024 г. (IV кв.)	2025 г. (II полугодие)
1	2	3	4
Колл-центр	45,0	41,1	35,3
Отделения банка	24,0	21,0	7,9
Чат (веб-сайт / мобильное приложение)	19,0	32,4	35,6
E-mail	–*	–*	9,4
Социальные сети	–*	–*	4,8
Прочие каналы (сайт, мессенджеры, формы обратной связи и др.)	11,0**	5,5**	7,0
Итого	100	100	100

Примечания:

– в 2023 и 2024 гг. данные по e-mail и социальным сетям не выделялись отдельно; они учтены в строке «прочие каналы».

** – в 2023 г. в «прочие» включены: сайт банка (1%) и иные каналы (10%); в 2024 году – иные каналы, не вошедшие в колл-центр, отделения и чат.

В 2025 г. средний срок рассмотрения претензии составлял от 3 до 4,6 дня. Обращения, поступившие через чат, обрабатывались в среднем за 3,7 дня. По сравнению с предыдущими периодами сроки сократились на 2,7–34,5% в зависимости от продукта. Дольше всего рассматриваются претензии по ипотеке, автокредитам и кредитам наличными – из-за необходимости проверки документов и согласования между несколькими подразделениями [7, 8].

Согласно исследованиям, 97–98% вопросов решаются при первом обращении [7]. При этом доля повторных обращений составляет 8,3%, а на одну претензию в среднем приходится от 1,8 до 2,4 контактов с клиентом [9].

Результаты разных банков заметно различаются. Например, в ВТБ фиксировали 3,6–4,4 претензии на тысячу клиентов [9], тогда как средний показатель по рынку составлял 9–10 [7]. Это говорит о том, что разница кроется не только в качестве клиентских каналов, но и во внутренней организации процесса – регистрации, маршрутизации и рассмотрении обращений [3].

Главное слабое место текущей модели – разрыв между удобными для клиента каналами подачи претензий и внутренней системой банка. Обращения из чата, колл-центра, почты, соцсетей и отделений не всегда попадают в единую систему. Из-за этого информация дублируется, контекст теряется при передаче между сотрудниками, а на ручную маршрутизацию, сбор документов и согласование уходит много времени. Кроме того, накопленные данные чаще используются только для закрытия конкретной претензии, а не для поиска и устранения системных причин повторяющихся проблем [2, 3, 11].

3. Цифровая трансформация процесса (модель TO-BE)

С ускоренным темпом развития информационных технологий (ИТ) сегодня практически каждая организация стремится к «цифровой трансформации» [2]. Внедрение цифровых технологий в банковский сектор России набирает обороты [4].

Больше всего времени банки тратят на рассмотрение претензионных обращений по кредитным продуктам – ипотеке, кредиту наличными и автокредиту. Это связано со сложностью продуктов, необходимостью многоэтапного анализа и согласований между различными подразделениями [8].

Целевая модель работы с претензиями строится на принципиально иной логике: от реагирования – к предвидению, от ручного управления – к автоматизированным сценариям, от разрозненных каналов – к единому клиентскому пути [2, 6]. Целевая модель работы с претензиями (TO-BE): ключевые элементы и ожидаемые эффекты представлена в табл. 2.

Таблица 2

Целевая модель работы с претензиями (TO-BE): ключевые элементы и ожидаемые эффекты [6, 10]

Элемент модели	Содержание	Ожидаемый эффект
Единая точка входа и интеллектуальная маршрутизация	Интеграция всех каналов (чат, приложение, e-mail, соцсети, колл-центр) в единую платформу; автоматическая классификация претензий по типу, сложности и срочности с использованием ИИ	Сокращение времени первичной реакции; исключение промежуточных согласований; направление к компетентному специалисту с первого касания
Автоматизированные сценарии для типовых ситуаций	Скрипты автоматического принятия решений для повторяющихся претензий (перерасчёт процентов, корректировка комиссий, блокировка/перевыпуск карт)	Решение 60–70% типовых претензий без участия человека; мгновенный ответ клиенту; разгрузка бэк-офиса
Речевая и текстовая аналитика	Инструменты анализа звонков, чатов и e-mail для оценки качества обслуживания и раннего выявления системных проблем	Проактивное выявление сбоев до их массового характера; повышение качества коммуникации
Цифровой профиль клиента и контекстная обработка	Доступ сотрудника к единому профилю с историей взаимодействий, предыдущими обращениями и текущими продуктами клиента	Исключение повторного сбора информации; принятие решений с учётом полного контекста отношений
Проактивное управление качеством	Системная обратная связь с продуктовыми и сервисными подразделениями; запуск процедур улучшения при систематическом повторении типов претензий	Претензия становится источником данных для улучшения процессов; снижение повторяемости проблем
Единая панель управления (дашборд)	Мониторинг ключевых показателей в реальном времени: количество обращений, сроки, FCR, удовлетворённость, повторные обращения	Оперативная корректировка ресурсов и приоритетов; прозрачность процесса для руководства

Модель позволяет собрать работу с претензиями в одном процессе: обращения поступают через разные каналы, но обрабатываются по единым правилам. Типовые случаи решаются быстрее, а сотрудник сразу видит историю взаимодействия с клиентом. Это сокращает сроки рассмотрения и помогает выявлять повторяющиеся причины проблем, а не ограничиваться подготовкой формального ответа.

4. Оценка эффективности и управленческие риски

Цифровые инструменты позволяют быстрее обрабатывать претензии и реже возвращаться к клиенту за уточнениями. По отдельным продуктам сроки рассмотрения сократились на 47–57%, а часть типовых вопросов стала решаться уже при первом обращении [7, 8].

Однако результат зависит от того, как организован сам процесс. Сотрудникам необходимо освоить новые инструменты и сосредоточиться на нестандартных случаях, которые нельзя решить по готовому сценарию. Проблемы могут возникнуть и на уровне информационных систем: при плохом качестве данных обращение будет неверно классифицировано или направлено не в то подразделение [5]. Отдельного контроля требуют автоматические ответы, поскольку они должны соответствовать нормативным требованиям и сохраняться в системе.

Участие сотрудника по-прежнему необходимо в спорных и чувствительных ситуациях. Если ответственность между подразделениями не определена, а ответ проходит несколько этапов согласования, внедрение новых технологий само по себе не ускорит работу с претензиями.

Вывод

Цифровизация помогает объединить каналы поступления претензий, уменьшить объём ручной работы и быстрее находить повторяющиеся проблемы. Но технологии дают результат только при качественных данных, понятном распределении ответственности и подготовленных сотрудниках. Автоматизация должна дополнять работу специалистов, а информация из обращений – использоваться для устранения недостатков внутренних процессов банка.

Список литературы

1. Иванов, Р. М. Менеджмент качества в цифровую эпоху / Р. М. Иванов, Ю. А. Репина // Научные исследования: фундаментальные и прикладные аспекты – 2022 : сборник научных трудов, Набережные Челны, 20 июня 2022 года. Том Вып. 1. – Казань : Издательство «Познание», 2022. – С. 59-62.

2. Обыдённов, А. Н. К банку 5.0: цифровая трансформация розничного банковского бизнеса : монография / А. Н. Обыдённов. – Москва : Солон-Пресс, 2025. – 272 с.

3. Смирнов Н. Альфа-Банк: «голос клиента» как основа для улучшения [Электронный ресурс] / Н. Смирнов // CIO. – 2024. – 21 февраля. – URL: https://cio.osp.ru/articles/210224-Alfa-Bank-golos-klienta-kak-osnova-dlya-uluchsheniya (дата обращения: 27.07.2026).

4. ЦБ начал использовать ИИ при работе с жалобами [Электронный ресурс] // Газета. Ru. – 2025. – 19 сентября. – URL: https://www.gazeta.ru/business/news/2025/09/19/26770574.shtml (дата обращения: 27.07.2026).

5. AI-Based Complaint Handling Challenges in the Financial Sector // 2025 IEEE 25th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI). – 2025. – P. 000707–000712.

6. EY. Expediting financial dispute resolution with automation [Электронный ресурс]. – 2026. – URL: https://www.ey.com/en_us/alliances/expediting-financial-dispute-resolution-with-automation (дата обращения: 27.07.2026).

7. Frank RG. Исследование: банки ускорили работу с претензиями [Электронный ресурс] // РБК Компании. – 2026. – 13 марта. – URL: https://companies.rbc.ru/news/Vc312IKpZ5/issledovanie-banki-uskorili-rabotu-s-pretenziyami/(дата обращения: 27.07.2026).

8. Frank RG. Как цифровизация и регуляторные требования меняют работу банков с претензиями [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: https://frankrg.com/news/kak-tsifrovizatsiya-i-regulyatornye-trebovaniya-menyayut-rabotu-bankov-s-pretenziyami (дата обращения: 27.07.2026).

9. Frank RG. Скорость обработки жалоб клиентов в российских банках выросла [Электронный ресурс] // Аргументы и Факты. – 2026. – 13 марта. – URL: https://ural.aif.ru/economics/skorost-obrabotki-zhalob-klientov-v-rossiyskih-bankah-vyrosla (дата обращения: 27.07.2026).

10. Mahmud S. Addressing consumer complaints in US retail banking: a hybrid AI-human service // International Journal of Financial Innovation in Banking. – 2026. – Vol. 3, № 4. – P. 349–367.

11. Naumen. Новая архитектура банковского сервиса – исследование [Электронный ресурс] // GlobalCIO. – 2025. – 27 октября. – URL: https://globalcio.ru/news/53465/(дата обращения: 27.07.2026).

УДК 004.896:681.5

ГИБРИДНЫЕ НЕЙРОСЕТИ В УПРАВЛЕНИИ РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ

Игонин С.О., студент;
ORCID: 0009-0004-1125-7650;
E-mail: don_don73@mail.ru;
Старостина Я.К., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск, Россия

HYBRID NEURAL NETWORKS IN THE CONTROL OF ROBOTIC MANIPULATORS

Igonin S.O., student;
ORCID: 0009-0004-1125-7650;
E-mail: don_don73@mail.ru;
Starostina Ya.K., PhD in Engineering, Associate Professor Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

Аннотация

В данной работе рассматриваются гибридные нейросетевые архитектуры, применяемые в системах управления роботами-манипуляторами. Проанализированы ключевые подходы к интеграции глубоких нейронных сетей с классическими методами управления – пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) регулированием, обратной динамикой и адаптивными алгоритмами. Описаны основные типы гибридных архитектур: физически информированные нейронные сети (Physics-Informed Neural Networks, PINN), нейро-нечёткие системы (ННС) на основе адаптивной нейро-нечёткой системы вывода (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS) и архитектуры с подкрепляющим обучением (Reinforcement Learning, RL), в частности алгоритм Residual RL. Проведён сравнительный анализ эффективности представленных методов по ключевым критериям: точности позиционирования, требованиям к обучающим данным, интерпретируемости, масштабируемости, вычислительной сложности и адаптивности. Показано, что PINN обеспечивают высокую точность при ограниченном объёме данных за счёт встраивания физических уравнений движения в функцию потерь, ННС отличаются высокой интерпретируемостью правил управления, а гибридные RL-архитектуры демонстрируют наивысшую точность и адаптивность при достаточных вычислительных ресурсах. Рассмотрены перспективные направления развития: методы переноса обучения, ансамблевое управление и интеграция с цифровыми двойниками манипуляторов. Сделан вывод о перспективности гибридных подходов для решения задач точного позиционирования и адаптации к изменяющимся условиям среды.

Ключевые слова: гибридные нейронные сети, роботы-манипуляторы, адаптивное управление, PINN, нейро-нечёткие системы, подкрепляющее обучение, глубокое обучение

Abstract

This paper examines hybrid neural network architectures used in robotic manipulator control systems. It analyses key approaches to integrating deep neural networks with classical control methods – PID control, inverse dynamics and adaptive algorithms. The main types of hybrid architectures are described: physically informed neural networks (PINN), neuro-fuzzy systems and reinforcement learning architectures. A comparative analysis of the effectiveness of the presented methods is carried

out. It is concluded that hybrid approaches hold promise for solving problems of precise positioning and adaptation to changing environmental conditions.

Keywords: hybrid neural networks, robotic manipulators, adaptive control, PINN, neuro-fuzzy systems, reinforcement learning, deep learning

Введение

Роботы-манипуляторы занимают ключевое место в современной промышленности, медицине и исследовательских лабораториях. Области их применения охватывают автоматизированные производственные линии, хирургические роботизированные системы, манипуляторы для работы в экстремальных условиях – радиационных, подводных и космических средах [1]. Достижение высокой точности и надёжности управления такими системами представляет собой сложную техническую задачу, обусловленную нелинейностью динамики, наличием погрешностей моделей и неопределённостью внешних возмущений.

Традиционные методы управления – ПИД-регуляторы, адаптивное и робастное управление – хорошо изучены и широко применяются на практике [2]. Вместе с тем они демонстрируют существенные ограничения при работе с нестационарными объектами, сложными кинематическими цепями и в условиях неполной информации о динамике системы. Развитие методов машинного обучения и глубоких нейронных сетей открыло новые возможности для решения указанных проблем [1].

Особый интерес представляют гибридные подходы, сочетающие потенциал нейронных сетей в аппроксимации сложных нелинейных зависимостей с формальными гарантиями устойчивости, характерными для классических методов управления [4]. Настоящая работа посвящена систематизации и анализу таких подходов применительно к задачам управления роботами-манипуляторами.

Цель работы – провести анализ существующих гибридных нейросетевых архитектур, применяемых в системах управления манипуляторами, оценить их эффективность и перспективы практического внедрения.

1. Классические методы управления манипуляторами и их ограничения

Математическая модель робота-манипулятора описывается уравнением Лагранжа-Эйлера, устанавливающим связь между обобщёнными координатами, скоростями, ускорениями и управляющими моментами. В матричной форме уравнение движения имеет вид:

$$M(q)\,\ddot{q} + C(q,\dot{q})\,\dot{q} + G(q) = \tau,,$$

где $M(q)$ – матрица инерции; $C(q, \dot{q})$ – матрица кориолисовых и центробежных сил; $G(q)$ – вектор гравитационных моментов; τ – вектор управляющих моментов [2].

ПИД-регуляторы, несмотря на простоту реализации, не учитывают нелинейность и взаимосвязанность степеней свободы манипулятора, что приводит к накоплению ошибки слежения при высоких скоростях движения [2]. Метод управления на основе вычисления крутящего момента (computed torque control) требует точной аналитической модели, получение которой затруднено из-за неопределённости параметров и неучтённых эффектов трения [2]. Адаптивные схемы позволяют частично компенсировать параметрическую неопределённость, однако их устойчивость может нарушаться при резких изменениях нагрузки [2].

Таким образом, возникает необходимость в методах управления, способных обучаться непосредственно на данных и адаптироваться к изменяющимся условиям функционирования без построения точной аналитической модели объекта управления [1].

2. Типы гибридных нейросетевых архитектур

2.1. Физически информированные нейронные сети (PINN)

Физически информированные нейронные сети (Physics-Informed Neural Networks, PINN) были предложены в 2019 г. и с тех пор нашли широкое применение в задачах моделирования и управления динамическими системами [3]. Ключевая идея PINN состоит во вклю-

чении физических уравнений движения непосредственно в функцию потерь при обучении нейронной сети.

Применительно к управлению манипуляторами PINN обеспечивают аппроксимацию неизвестных или трудновычислимых компонентов динамики – прежде всего сил трения и упругой деформации звеньев – при одновременном выполнении уравнений Лагранжа. Это позволяет существенно сократить объём обучающих данных по сравнению с чисто данными-управляемыми подходами [3]. Результаты исследований, представленные Сидоровым и Назаровым, показывают, что PINN-архитектуры способны обеспечить погрешность позиционирования конечного звена манипулятора менее 0,5 мм при работе с неполными данными о параметрах звеньев [4].

Основным недостатком PINN является высокая вычислительная стоимость обучения, обусловленная необходимостью вычисления производных по пространственным и временным переменным в процессе оптимизации. Кроме того, выбор весовых коэффициентов составной функции потерь требует тщательной настройки [5].

2.2. Нейро-нечёткие системы управления

Нейро-нечёткие системы (ННС) объединяют аппарат нечёткой логики и обучающие возможности нейронных сетей. Наиболее распространённой архитектурой является адаптивная нейро-нечёткая система вывода (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS) [6]. В контексте управления манипуляторами ANFIS применяется для построения нелинейных регуляторов, параметры нечётких правил которых автоматически настраиваются по экспериментальным данным.

В работе Громова и Соколова продемонстрировано, что ННС-регулятор, обученный на траекториях шестизвенного манипулятора, обеспечивает снижение среднеквадратического отклонения угловых ошибок на 37% по сравнению с классическим ПИД-регулятором при изменении нагрузки в диапазоне 0–5 кг [7]. Важным преимуществом ННС является интерпретируемость базы правил, что упрощает верификацию системы управления с точки зрения функциональной безопасности.

К ограничениям ННС следует отнести «проклятие размерности»: с ростом числа входных переменных количество нечётких правил экспоненциально увеличивается, что затрудняет масштабирование подхода на манипуляторы с большим числом степеней свободы [2].

2.3. Гибридные архитектуры с подкрепляющим обучением

Подкрепляющее обучение (Reinforcement Learning, RL) позволяет синтезировать управляющий закон без явного задания математической модели объекта путём взаимодействия агента-регулятора со средой [8]. В гибридных RL-архитектурах нейронная сеть аппроксимирует функцию ценности (value function) или политику (policy), тогда как классические регуляторы формируют базовый управляющий сигнал, обеспечивающий начальную устойчивость в ходе исследования пространства состояний.

Алгоритм Residual RL предполагает, что нейронная сеть вырабатывает лишь корректирующую добавку к сигналу классического регулятора, что существенно ускоряет сходимость и повышает безопасность обучения [5]. Воронов и соавторы подтвердили эффективность данного подхода для манипулятора типа PUMA 560: время достижения заданной точности позиционирования сократилось с 850 до 420 мс при одновременном уменьшении максимального управляющего момента на 18% [5].

Вместе с тем обучение RL-агентов в режиме реального времени сопряжено с рисками повреждения оборудования, что требует применения методов безопасного обучения (safe RL) и тщательного проектирования функции вознаграждения [8].

3. Сравнительный анализ подходов

Для объективной оценки рассмотренных гибридных архитектур необходимо сопоставить их по ключевым критериям, определяющим пригодность для практического применения в системах управления манипуляторами. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика гибридных нейросетевых архитектур

Критерий	PINN	HHC / ANFIS	Residual RL	Классич. ПИД
Точность позиционирования	Высокая	Высокая	Очень высокая	Средняя
Требования к данным	Умеренные	Умеренные	Большие	Нет
Интерпретируемость	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
Масштабируемость	Средняя	Низкая	Высокая	Высокая
Вычисл. сложность	Высокая	Средняя	Очень высокая	Низкая
Адаптивность	Средняя	Средняя	Высокая	Низкая

Анализ данных табл. 1 показывает, что ни один из рассмотренных подходов не является универсальным. При необходимости высокой интерпретируемости и ограниченном объёме обучающих данных предпочтительны HHC; для задач, требующих максимальной точности с достаточным вычислительным ресурсом, перспективны гибридные RL-архитектуры [5].

Результаты экспериментальных исследований, представленные Кузнецовым и Малаховым, свидетельствуют о том, что гибридные архитектуры в среднем обеспечивают снижение ошибки слежения по траектории на 25–60% по сравнению с чисто классическими методами, при этом прирост вычислительной нагрузки составляет от 1,5 до 4 раз в зависимости от сложности архитектуры [9].

4. Перспективы развития и практические применения

Среди актуальных направлений развития гибридных нейросетевых систем управления манипуляторами можно выделить несколько ключевых тенденций.

Во-первых, активно развиваются методы переноса обучения (transfer learning), позволяющие адаптировать ранее обученные модели к новым классам манипуляторов с минимальным объёмом дополнительных обучающих данных [10]. Это особенно актуально для малосерийного производства специализированных роботизированных комплексов.

Во-вторых, широкое внедрение находят методы ансамблевого управления, при которых несколько нейросетевых моделей параллельно обрабатывают входные данные, а результирующий управляющий сигнал формируется путём взвешенного объединения выходов. Такой подход повышает робастность системы к единичным сбоям отдельных компонентов [4].

В-третьих, перспективным направлением является интеграция гибридных нейросетевых регуляторов с цифровыми двойниками манипуляторов. Цифровой двойник обеспечивает возможность проведения предварительного обучения и верификации алгоритмов в имитационной среде с последующим безопасным переносом в реальную систему [4].

Практически гибридные нейросетевые архитектуры уже нашли применение в ряде промышленных и медицинских систем. В частности, в системах лазерной сварки применение PINN-регулятора позволило снизить отклонение инструмента от заданной траектории с 0,8 до 0,2 мм [5]. В хирургической робототехнике алгоритмы на основе Residual RL обеспечивают компенсацию физиологического движения тканей пациента с частотой обновления управляющего сигнала до 1000 Гц [5].

Вместе с тем существуют нерешённые проблемы, препятствующие широкому промышленному внедрению. К ним относятся: отсутствие стандартизированных методик сертификации нейросетевых компонентов систем управления ответственными объектами, сложность формальной верификации безопасности и высокая стоимость вычислительных ресурсов для выполнения алгоритмов в реальном времени [2, 9]. Решение этих проблем является предметом интенсивных исследований как в академической среде, так и в промышленных лабораториях.

Заключение

В настоящей работе проведён анализ гибридных нейросетевых архитектур, применяемых в системах управления роботами-манипуляторами. Рассмотрены физически информированные нейронные сети (PINN), нейро-нечёткие системы ANFIS и гибридные архитектуры на основе подкрепляющего обучения.

Установлено, что гибридные подходы, сочетающие знания о физической природе управляемого объекта с данными-управляемыми методами машинного обучения, обеспечивают качественно более высокую точность и адаптивность по сравнению с чисто классическими методами управления. При этом выбор конкретной архитектуры должен определяться требованиями к точности, интерпретируемости, вычислительным ресурсам и объёму доступных обучающих данных.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка методов безопасного обучения RL-агентов на реальном оборудовании; создание стандартизированных инструментов верификации нейросетевых компонентов систем управления; интеграция гибридных архитектур с технологией цифровых двойников.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании систем управления промышленными и медицинскими роботами-манипуляторами, а также в качестве основы для дальнейших прикладных исследований в области интеллектуальных систем управления.

Список литературы

1. Козлов, В. В. Роботизированные манипуляционные системы в промышленности: современное состояние и перспективы развития / В. В. Козлов, В. М. Рябов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 87–98.

2. Сидоров, С. А. Адаптивные системы управления манипуляторами на основе нейро-нечётких регуляторов / С. А. Сидоров, А. В. Назаров // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2022. – Т. 23, № 5. – С. 243–251.

3. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems // Journal of Computational Physics. – 2019. – Vol. 378. – P. 686–707.

4. Воронов, Е. М. Нейросетевые регуляторы с физическими ограничениями для манипуляционных роботов / Е. М. Воронов, Н. В. Фалдин, О. А. Лукьянова // Автоматика и телемеханика. – 2023. – № 3. – С. 114–132.

5. Кузнецов, П. А. Гибридные алгоритмы управления манипуляторами на основе нейронных сетей и аналитических моделей / П. А. Кузнецов, Д. В. Малахов // Программирование. – 2022. – № 6. – С. 35–47.

6. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23, № 3. – P. 665–685.

7. Громов, В. С. Применение нейро-нечётких систем в управлении шестизвенными манипуляторами / В. С. Громов, С. В. Соколов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 4. – С. 167–180.

8. Ильин, А. Е. Методы обучения с подкреплением для задач управления промышленными роботами / А. Е. Ильин, И. А. Каляев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2023. – Т. 24, № 1. – С. 4–16.

9. Малинин, Р. Г. Сравнительное исследование гибридных методов управления промышленными манипуляторами / Р. Г. Малинин, Е. В. Нечаев // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2022. – № 2. – С. 98–115.

10. Жуков, В. А. Перенос обучения в задачах адаптивного управления манипуляционными роботами / В. А. Жуков, П. Е. Тихомиров // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2023. – № 2. – С. 54–63.

УДК 658.512.2

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ НА ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Исмагилов В.В., аспирант;
ORCID: 0009-0001-1550-4688;
E-mail: ivv_vlad@bk.ru;
Гайнутдинов Р.Р., к.т.н., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1973-2941;
E-mail: emc-kai@mail.ru

PLACEMENT AUTOMATION OF ANTENNA SYSTEMS ON AN AIRCRAFT WITH THE USE OF METAHEURISTIC OPTIMIZATION METHODS

Ismagilov V.V., Postgraduate of the Computer-Aided Design Systems Department;
ORCID: 0009-0001-1550-4688;
E-mail: ivv_vlad@bk.ru;
Gaynutdinov R.R., Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Computer-Aided Design Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1973-2941;
E-mail: emc-kai@mail.ru

Аннотация

В работе представлено применение алгоритма метаэвристической оптимизации для решения задачи автоматизации размещения антенных систем на летательном аппарате с учетом электромагнитной совместимости и конструктивных ограничений фюзеляжа. В основу положен индекс влияния, учитывающий энергетические, частотные и пространственные характеристики, а также минимизацию взаимного попадания главных лепестков диаграмм направленности. Дополнительно проводится частотный анализ каналов для выявления потенциально опасных пар передатчиков и приемников. Для поиска оптимальной компоновки используется генетический алгоритм, где приспособленность определяется индексами влияния и результатами анализа. Исследование показало, что увеличение вероятности мутации и размера популяции ускоряет поиск, тогда как влияние селекции незначительно, а рост популяции влечет за собой дополнительные вычислительные затраты. На основе алгоритма разработано программное обеспечение на языке C# для расчета координат размещения антенн. Пример компоновки 15 антенн подтверждает эффективность подхода при соблюдении технических ограничений. Результаты позволяют автоматизировать выбор вариантов на этапе предварительного проектирования и подготовки данных для моделирования.

Ключевые слова: летательный аппарат, электромагнитная совместимость, индекс влияния, генетический алгоритм, диаграмма направленности, антенная система, оптимизация размещения

Abstract

The work presents the application of a metaheuristic optimization algorithm for solving the problem of automating the placement of antenna systems on an aircraft, considering electromagnetic

compatibility and structural constraints of the fuselage. The approach is based on an influence index that considers energy, frequency, and spatial characteristics, as well as the minimization of mutual overlap of main lobes in radiation patterns. Additionally, a frequency analysis of channels is performed to identify potentially dangerous pairs of transmitters and receivers. A genetic algorithm is used to find the optimal layout, where fitness is determined by influence indices and analysis results. The study showed that increasing the mutation probability and population size accelerates the search, while the influence of selection is negligible, and population growth entails additional computational costs. Based on the algorithm, software has been developed in C# for calculating antenna placement coordinates. An example of a 15-antenna layout confirms the effectiveness of the approach while meeting technical constraints. The results enable automation of option selection at the preliminary design stage and data preparation for modeling.

Keywords: aircraft, electromagnetic compatibility, influence index, genetic algorithm, radiation pattern, antenna system, placement optimization

Введение

Современные летательные аппараты используют большое число радиоэлектронных средств (далее – РЭС) различного назначения. По мере роста плотности бортового оборудования возрастает уровень электромагнитных полей и усложняется обеспечение внутрисистемной электромагнитной совместимости (далее – ЭМС) при взаимном влиянии РЭС через антенные системы [1, 2]. ЭМС определяет качество, надежность и функциональную безопасность авиационной техники [2].

ЭМС РЭС – это способность радиоэлектронных средств функционировать в заданном электромагнитном окружении без нежелательного воздействия на другие средства и без создания недопустимых помех самим себе, а также способность сохранять работоспособность при воздействии внешних электромагнитных помех.

Особенно актуальна эта задача для летательных аппаратов с ограниченными габаритами. Недостаток свободного пространства уменьшает возможности пространственного разнесения антенн и повышает вероятность взаимных помех. Дополнительным фактором являются композитные материалы фюзеляжа: их электрофизические свойства отличаются от металлов, что может снижать эффективность экранирования и ухудшать развязку антенных систем в метровом и дециметровом диапазонах [2].

Современные автоматические и интеллектуальные системы управления также повышают плотность размещения оборудования и число антенных систем. Для оценки взаимного влияния применяются расчетные методики, основанные на энергетических, частотных и пространственных характеристиках пар передатчик–приемник [1, 2, 4–7]. При этом задача автоматизированной оптимизации размещения антенн на сложной трехмерной модели летательного аппарата остается недостаточно проработанной.

Обеспечение ЭМС РЭС при их компактном размещении в ограниченном пространстве представляет собой одну из наиболее сложных задач современной авиационной электроники. В условиях плотного расположения аппаратуры возникает множество паразитных электромагнитных связей между устройствами, которые могут приводить к взаимным помехам и нарушению работоспособности систем. Излучение через антенные системы в таких условиях усугубляется тем, что антенны оказываются в непосредственной близости друг от друга и от металлических конструкций фюзеляжа, что вызывает эффект экранирования, отражения и резонанса. Особую сложность представляет обеспечение ЭМС при излучении, когда энергия антенн может не только распространяться в целевом направлении, но и проникать в соседние системы через различные каналы связи: кондуктивные, емкостные и индуктивные.

Цель работы – разработать подход к автоматизации поиска оптимального размещения антенных систем РЭС на летательном аппарате с учетом ЭМС, а также реализовать его в программном виде.

Постановка задачи

Оптимизационная задача заключается в определении взаимного расположения антенн систем РЭС на фюзеляже и во внутрифюзеляжном пространстве, при котором обеспечиваются ЭМС передатчиков – источников непреднамеренных помех – и приемников – рецепторов помех. Размещение должно соответствовать конструктивным и эксплуатационным ограничениям, включая допустимые зоны установки, ориентацию антенн и специальные зоны под радиопрозрачными обтекателями.

Исходными данными являются трехмерная модель летательного аппарата, модели размещаемых антенных систем и характеристики РЭС. Модели антенн используются для определения диаграмм направленности (ДНА) и габаритов, а характеристики РЭС – для частотного и энергетического анализа. Модель фюзеляжа задается полигональной сеткой с координатами и нормалями элементов поверхности.

Критерии задачи

Оценка ЭМС выполняется посредством расчёта индекса влияния по методу парной оценки: последовательно определяется влияние каждого передатчика на каждый приемник по идентифицированным после частотного анализа каналам.

Мощность сигнала на входе рассматриваемого приемника рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{i,j}^{\text{вх}} = P_j - \eta_j + G(C_i, Rt_j)_j - \eta_i + G(C_j, Rt_i)_i - L(C_j, C_i)_0,$$

где P_j – максимальная мощность излучения j-го передатчика дБВт;

n_j, n_i – фидерные потери на передачу / приём дБ, зависящие от рабочей частоты РЭС и длинны антенно-фидерного тракта;

G_j – усиление антенны j-го передатчика в направлении на i-ый радиоприёмник дБ, зависящий от поворота относительно глобального центра антенны передатчика и координаты антенны приёмника;

G_i – усиление антенны i-го приёмника в направлении на j-ый радиопередатчик дБ, зависящий от поворота относительно глобального центра антенны приёмника и координаты передатчика приёмника;

$L(C_j, C_i)_0$ – пространственная развязка между антенной приёмника и передатчика зависящий от координат антенных систем дБ.

В условиях ограниченного пространства существенную роль играют коэффициенты усиления антенн. Поэтому в качестве дополнительного критерия предлагается минимизировать число пар приемник–передатчик с взаимным попаданием главных лепестков ДНА (ГЛ ДНА), то есть с воздействием ГЛ→ГЛ (рис. 1).

Задача размещения антенных систем задается в трехмерном пространстве, где размещены А антенн, из которых Т – множество передатчиков, а R – множество приемников.

У каждой антенны есть угол α – ширина главного лепестка ДНА.

При размещении для каждой пары приемник–передатчик рассматриваются индикаторные функции, характеризующие варианты взаимного попадания главного и бокового лепестков.

При размещении для любой пары приёмник передатчик индикаторными функциями являются:

$S_{t,r}^1 = 1$, если t в главном лепестке r и r в главном лепестке t, иначе 0.

$S_{t,r}^2 = 1$, если t в главном лепестке r, но r не в главном лепестке t, иначе 0.

$S_{t,r}^3 = 1$, если r в главном лепестке t, но t не в главном лепестке r, иначе 0.

$$S_{t,r}^4 = 1 - (S_{t,r}^1 + S_{t,r}^2 + S_{t,r}^3)$$

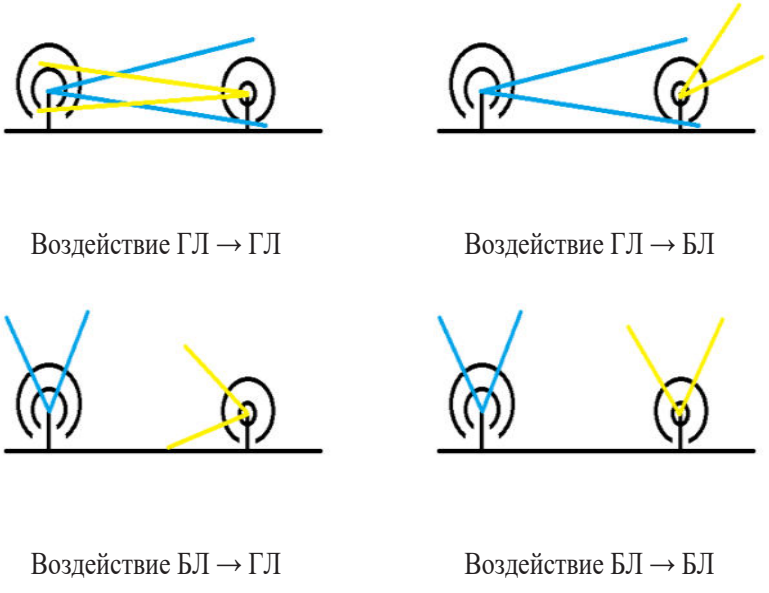


Рис. 1. Возможные варианты совпадения лепестков диаграммы направленности

Наиболее неблагоприятной считается ситуация, когда координата передатчика попадает в конус главного лепестка ДНА приемника-рецептора помех (РП), а координата приемника – в соответствующий конус передатчика-источника помех (ИП). Цель применения данного критерия минимизация количества сонаправленных пар антенн приёмников и передатчиков. Снижение уровня воздействия этим путём позволяет в ограниченном пространстве добиться снижения уровня влияния на значение усиления, которое может формироваться при автоматизированном размещении систем. Также для этого критерия возможно исключить и другие варианты совпадения по направлению.

Второй контролируемый компонент в формуле – пространственная развязка также влияет большую роль при оценке размещения антенных систем на летательном аппарате, она рассчитывается по следующей формуле:

$$L_0 = -27{,}55 + 20\,lg(f_{\text{ПРД}}) + 20\lg\left(R(x_i, y_i, z_i, x_j, y_j, z_j)\right)$$

где $f_{\text{ПРД}}$ – рабочая частота передачи МГц,

$R_{i,j}$ – путь между i-ым приёмником и j-ым передатчиком м учитывая материалы, обладающие свойством радиоотражения:

$$R_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$$

Индекс влияния определяется как разность между допустимым уровнем помехи и уровнем помехи на входе приемника. При положительном значении пара передатчик–приемник считается электромагнитно несовместимой и требует пространственного разнесения; при отрицательном значении пара считается совместимой. Расчет выполняется по процедуре, установленной ГОСТ Р 55898-2013 [6].

Метаэвристический алгоритм оптимизации

Для автоматизации оптимизации размещения антенных систем предлагается генетический алгоритм, эффективность которого показана для решения задач размещения [7-10]. Общая схема алгоритма приведена на рис. 2.

Фюзеляж дискретизируется конечным числом допустимых точек поверхности с тремя координатами и вектором нормали {x, y, z, n}; нормаль используется при учете ориентации ДНА в целевой функции.

Хромосома представляет потенциальное решение и содержит гены, соответствующие размещаемым антеннам.

Начальная популяция формируется на основе исходного размещения с вариациями, реализуемыми операторами мутации и скрещивания.

После оценки выполняется взвешенная селекция по схеме «швейцарской сетки»: решения разбиваются на пары и сравниваются с вероятностным учетом их качества.

Остановку выполняют при достижении максимального числа поколений, отсутствии улучшения целевой функции в течение заданного числа поколений или получении удовлетворительного решения, для которого максимальный индекс влияния становится отрицательным.

При отсутствии условия остановки отобранные особи проходят мутацию: в пределах допустимой области изменяются позиции антенных систем.

Из мутировавших хромосом и прошедших селекцию особей формируется новая популяция; процесс повторяется до выполнения условия остановки. Схема алгоритма представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема генетического алгоритма

Проведено исследование сходимости алгоритма. Для сравнения параметров из условия остановки временно исключено достижение отрицательного значения целевой функции, а лучшие особи прошлых поколений не переносились напрямую в новую популяцию. Исследовалось влияние вероятности мутации (Pm) на скорость сходимости. Результаты исследования представлены на рис. 3.

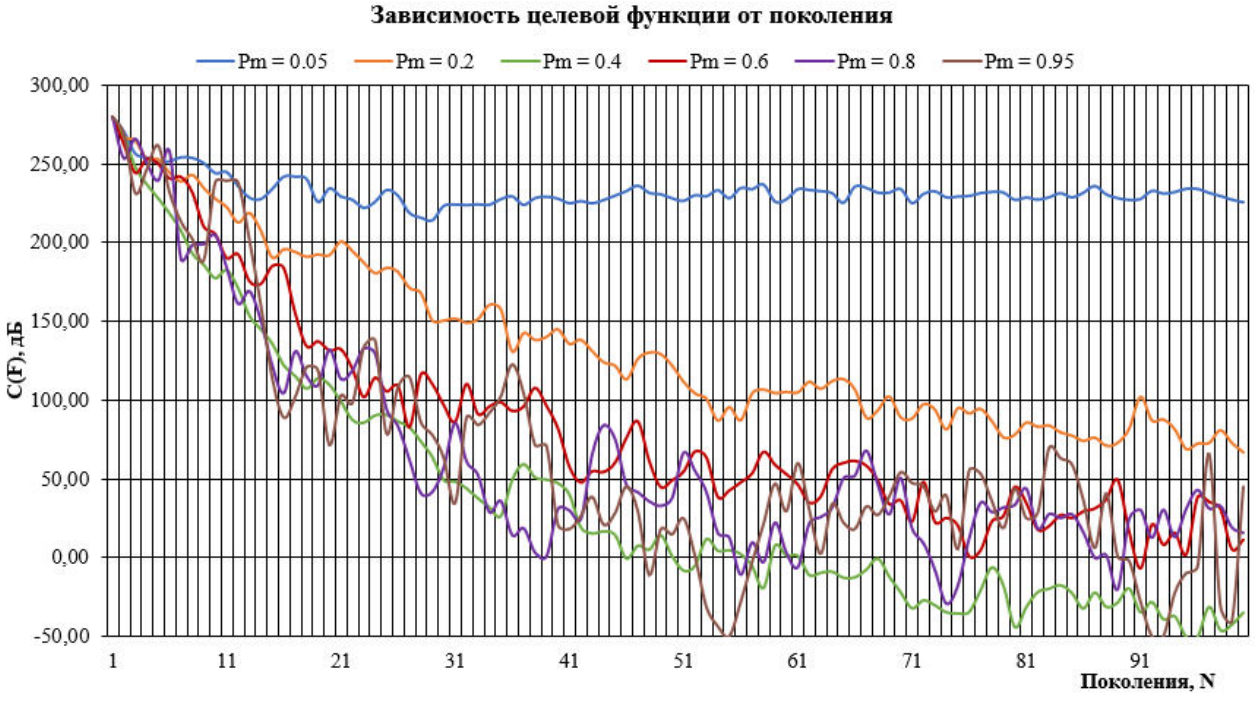
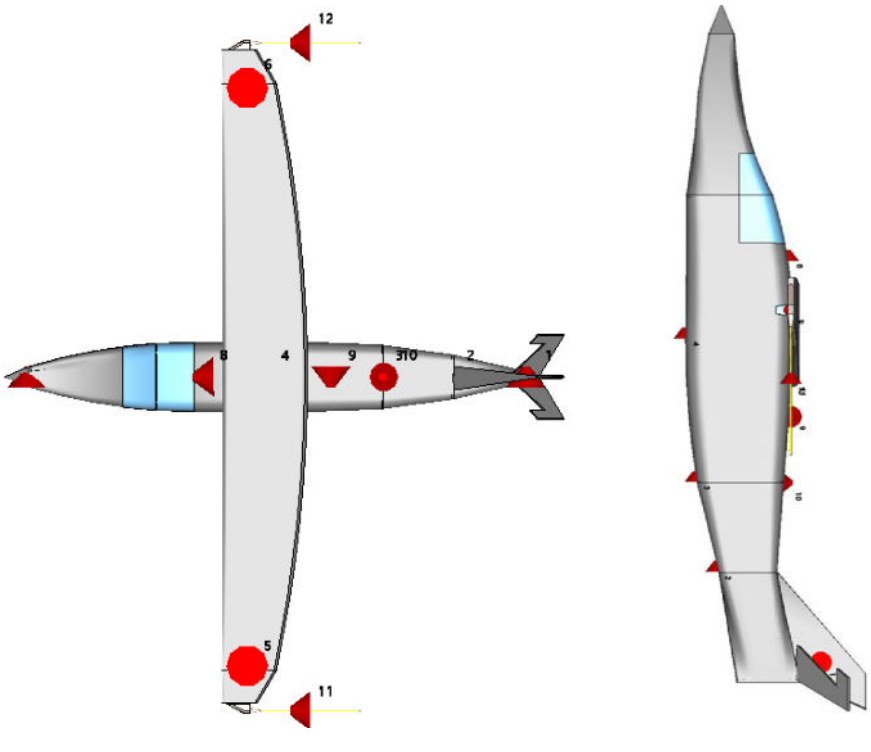


Рис. 3. Зависимость скорости сходимости алгоритма от вероятности мутации

Алгоритм реализован в виде компьютерной программы на языке MS C#. В примере оптимизируется размещение 15 антенн на поверхности фюзеляжа (рис. 4). Антенны в носовой части, на киле и законцовках крыльев считаются фиксированными; остальные размещаются в заданных секторах поверхности с учетом технических требований и различий ДНА.



а *б*

Рис. 4. Пример размещения антенн на поверхности фюзеляжа летательного аппарата (а – вид сверху, б – вид сбоку)

Таким образом, модифицирован генетический алгоритм оптимизации размещения антенных систем РЭС с учетом ЭМС и программное обеспечение для автоматизации расчета коэффициентов связи, частотного анализа и индексов влияния при формировании проектного решения.

Выводы

В ходе проведённых исследований, описанных в данной работе, были получены следующие основные результаты:

1. Сформулирована задача размещения антенных систем с учётом ЭМС РЭС при влиянии через антенные системы. Предложены критерии ЭМС РЭС для оптимизации размещения антенных систем, среди которых критерий минимизации максимального индекса влияния во всех парах «источник помех – рецептор помех» и ограничение в виде предотвращения размещения с наличием взаимонаправленных антенных систем.

2. Предложен и модифицирован под задачу размещения антенных систем на летательном аппарате генетический алгоритм, показавший свою эффективность и применяемый в различных задачах для размещения. Проведён анализ разработанного алгоритма с точки зрения его эффективности и предложенных параметров управления, найдены недостатки, лучшие варианты параметров и направления дальнейшего развития исследования.

3. Разработано программное обеспечение, реализующее разработанный алгоритм, оценку коэффициентов связи между антенными системами, частотный анализ применяемых РЭС, автоматизированный расчёт индексов влияния в парах РЭС при влиянии через антенные системы.

4. Рассмотрен пример решения задачи оптимизации размещения антенных систем на поверхности фюзеляжа летательного аппарата с применением генетического алгоритма.

Список литературы

1. Петровский, В. И. Электромагнитная совместимость радиотехнических средств летательных аппаратов / В. И. Петровский, В. В. Петровский. – Казань : Изд-во Казанского государственного технического университета, 2007. – 248 с.

2. Gainutdinov R.R., Chermoshentsev S.F. Methodology to ensure the intrasystem electromagnetic compatibility of UAV avionics // Russian Aeronautics (Iz VUZ), 2016, Volume 59, Issue 4, P. 613–618.

3. Гладков, Л. А. Интеллектуальные системы: модели и методы метаэвристической оптимизации / Л. А. Гладков, Ю. А. Кравченко, В. В. Курейчик. – Чебоксары : Среда, 2024. – 228 с.

4. Katulsky R.Y. Aspect of EMC Antennas in Radio System Planning // Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Tokyo, 1999. P. 604–607.

5. Weston D. Comparison of Methods for Predicting and Measuring Antenna Coupling on Aircraft // Proceedings of the 10th International Symposium on Electromagnetic Compatibility EMC Europe 2011. York, 2011. P. 228–233.

6. ГОСТ Р 55898-2013. Технические средства радиосвязи. Взаимные радиопомехи в местной группировке. Методы расчета. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 18 с.

7. Gaynutdinov R., Suzdaltsev I. Genetic Algorithm for Optimization Placement of Antennas on Aircraft. 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi, 2019. Pp. 1–5. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867681.

8. Suzdaltsev I.V., Chermoshentsev S.F., Bogula N.Yu. Bionic Algorithms for Multicriteria Design of Printed Circuit Boards of Electronic Equipment // Proceedings of the XX International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM 2017). St. Petersburg, 2017. P. 394–396.

9. Исмагилов, В. В. Размещение антенных систем радиоэлектронных средств в локальной группировке. Моделирование, оптимизация и информационные технологии / В. В. Исмагилов, Р. Р. Гайнутдинов. – 2026;14 (6). DOI: 10.2610/2310-6018/2026.57.6.005.

10. Суздальцев, И. В. Компоновка электронных блоков бортового оборудования летательного аппарата с учетом критерия электромагнитной совместимости / И. В. Суздальцев, Д. Е. Крупенникова // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2024; (4):230-237.

УДК 338.3

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОАНАЛИТИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭРГОНОМИЧНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Исмагилов Р.Х., к.э.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-8805-303X;
Павлова Я.Ю., к.э.н., доцент кафедры экономики и управления на предприятии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-7503-2504;
Гораева Т.Ю., к.э.н., заведующий кафедрой экономической безопасности Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь;
ORCID: 0000-0002-8255-6891

THE APPLICATION OF VIDEO ANALYTICS TO IMPROVE THE ERGONOMICS OF MANUFACTURING OPERATIONS IN THE AIRCRAFT MANUFACTURING SECTOR

Ismagilov R.Kh., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-8805-303X;
Pavlova Ya.Yu., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Enterprise Economics and Management, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-7503-2504;
Goraeva T.Yu., Candidate of Economic Sciences, Head of the Department of Economic Security, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;
ORCID: 0000-0002-8255-6891

Аннотация

Рассмотрены направления повышения эргономичности производственных процессов предприятий авиастроительного комплекса. Показаны режимы работы видеоаналитики для решения задач роста безопасности и эргономичности работы сотрудников. Рассмотрены возможные нарушения эргономики на предприятиях авиастроительного комплекса и возможности видеоаналитики для обеспечения эргономичности производственных процессов. Отражены возможности видеоаналитики для развития производственных процессов.

Ключевые слова: нейросеть, цифровая модель, безопасность, производственный процесс, травматизм, эргономика, наблюдение, авиастроение

Abstract

This paper examines approaches to enhancing the ergonomics of production processes within aircraft manufacturing enterprises. It outlines video analytics operating modes designed to improve

safety and employee workplace ergonomics. Potential ergonomic issues in aircraft manufacturing facilities are discussed, alongside the capabilities of video analytics to ensure ergonomic production processes. The role of video analytics in the development of production processes is also highlighted.

Keywords: neural network, digital model, safety, production process, injury rate, ergonomics, surveillance, aircraft manufacturing

Введение

Одна из серьезных задач руководителя предприятий авиастроительного комплекса повышение производительности сотрудников при реализации производственных процессов. Авиастроительные предприятия обладают своей ярко выраженной спецификой: теснота сборочных цехов, работа в стеснённых условиях, сложные ручные операции, такие как клепка, монтаж проводки, сборка агрегатов, а также высокие требования к безопасности и качеству.

Вопросы эргономических рисков и эргономического обеспечения производства представлены в трудах Рябчиковой И.А. [1], Чунтул А.В. [2], Жданько И.М., Найченко М.В., Осипов В.Р., Абрашкин Д.А. [3], Невилл А Стэнтон, Вэнь-Чин Ли, Дональд Харрис [4]. На современных конференциях недостаточно представлены вопросы эргономичности производства в авиастроении [5]. Изучение эргономичности связано с использованием потребителем готового изделия [6].

Вопросам применения цифровых инструментов для управления эргономическими рисками также посвящены труды небольшого числа авторов, в частности, Роя Ж. и др. [7], Andrzej Marek Lasota и др. [8], Гасанова Н. Э. [9], Asadi H. A. [10], Яковлевой М. В., Низовой А. А. [11].

Методом исследования в данной статье является анализ видов эргономических травм и факторов травматизма, направления и способы анализа инструментов видеоаналитики для выявления неэргономичных операций, а также анализ характеристик систем видеоаналитики для выявления эргономических рисков в авиастроении.

Основная часть. Современные предприятия авиастроительного комплекса достаточно хорошо оборудованы и на них достаточно хорошо отработаны инструменты наблюдения и контроля. В то же время существует серьезный резерв развития инструментов контроля для автоматического обнаружения нарушений эргономики действий сотрудников в производственных процессах.

По данным профильных исследований и анализа условий труда на авиастроительных предприятиях, на нарушения эргономики (несовершенство рабочих мест, инструментов, организации процессов) приходится примерно 15-25% случаев, которые приводят к травмам или микротравмам. То есть это значимый фактор травматизма и соответственно снижения производительности труда.

Таблица 1

Виды работ в авиастроении, связанных с эргономическими рисками

№ п/п	Подразделения предприятий авиастроительного комплекса	Виды работ, связанных с эргономическими рисками
1	Агрегатно-сборочные цеха (АСЦ).	Сборка крупных узлов – фюзеляж, крыло, оперение. Частая работа в стеснённом пространстве, в полусогнутом положении, необходимость подъема и удержания тяжёлых панелей.
2	Цех окончательной сборки.	Монтаж оборудования внутри фюзеляжа, прокладка жгутов, установка панелей. Данные операции проводятся в неудобных позах: над головой, лёжа, в узком проходе.

Окончание табл. 1

№ п/п	Подразделения предприятий авиастроительного комплекса	Виды работ, связанных с эргономическими рисками
3	Заготовительно-штамповочные и раскройные участки.	Работа с тяжёлыми листами металла, их подъём, кантование, укладка. Распространены резкие наклоны, перенос грузов на вытянутых руках.
4	Малярно-отделочные и антикоррозионные участки.	Окраска и обработка поверхностей предполагает неудобные позы длительное время: вытянутые вверх руки при работе с верхней частью фюзеляжа, наклоны при обработке нижней части.
5	Участки клепки и герметизации.	Операции проводятся вручную, зачастую в труднодоступных местах. Работники находятся в статичной неудобной позе.
6	Инструментальные и ремонтные подразделения.	Изготовление и ремонт оснастки, шаблонов, стапелей. Работа проводится на станках и вручную с тяжёлыми деталями, частая смена поз, подъём и перемещение заготовок.

В табл. 2 представлены факторы травматизма из-за плохой эргономики на предприятиях авиастроения.

Таблица 2

Факторы травматизма из-за плохой эргономики на предприятиях авиастроения

№ п/п	Вид эргономических травм	Факторы травматизма
1	Заболевания и травмы опорно-двигательного аппарата	Длительная работа в неудобных позах (наклон, вытянутые руки), статические нагрузки при удержании деталей или инструментов
2	Микротравмы и повторяющиеся нагрузки	Многократные однообразные движения
3	Травмы из-за плохо продуманной компоновки	Лишние движения, необходимость тянуться, повороты в неудобном положении.
4	Проблемы из-за несовершенства оснастки	Неэргономичные приспособления для фиксации деталей, неудобные рукоятки инструментов, отсутствие или плохое качество подставок/подлокотников

Выявление данных факторов на предприятии авиастроения удобно проводить при помощи инструментов видеоаналитики. Нейросети анализируют видеопоток и строят цифровую модель человека, выявляют ключевые точки в теле человека и проводят оценку безопасности поз и движений. Ключевые инструменты видеоаналитики представлены в табл. 3.

Таблица 3

Инструменты видеоаналитики для выявления неэргономичных операций на предприятиях авиастроения

№ п/п	Направление анализа	Способ анализа
1	Оценка углов и нагрузок	Система анализирует угол наклона спины, шеи, положение рук и ног. Система заметит, если сотрудник часто держит руки вытянуто вверх или сильно сгибает спину при подъёме детали.
2	Выявление длительных статических нагрузок	Система заметит, что сотрудник долго стоит в одной нефизиологичной позе и зафиксирует это как риск развития хронического перенапряжения.
3	Мониторинг повторяющихся движений	Система определит частоту и амплитуду однообразных действий. Это позволяет выявить риски травм от повторяющейся нагрузки.
4	Анализ взаимодействия с оборудованием	Система анализирует дистанцию до оборудования, характер движения рук работника. Если доступ к органу управления предполагает лишний шаг или необходимость тянуться вбок, это признак нарушения эргономики.
5	Применение стандартизированных методик	Система видеоаналитики опирается на признанные методики оценки, в частности, REBA (Rapid Entire Body Assessment). Методика предназначена для экспресс оценки общей нагрузки на тело по позе.
6	Генерация отчётов и рекомендаций	Система формирует отчёт о том, какие конкретно операции несут риск эргономических травм, частоту данных операций. Система предлагает конкретные рекомендации: изменить расположение детали, добавить подставку, поменять очередность действий.
7	Управление в реальном времени	Система может сразу дать сигнал работнику или руководителю, чтобы скорректировать действие сразу.
8	Анализ инцидентов в режиме постобработки	Система позволяет поводить расследование уже случившихся микротравм или проводить аудит рабочих мест

Для практического применения систем видеоаналитики используются ряд конкретных продуктов, каждый из которых отличается своими особенностями применения. Характеристика данных продуктов представлена в табл. 4.

Представленный перечень систем видеоаналитики для выявления эргономических рисков позволяет подобрать конкретное решение под специфику отдельного участка авиастроительного предприятия и за счет этого значительно облегчить работу по снижению количества эргономических травм сотрудников. Это в свою очередь, позволяет поднять производительность работников предприятий авиастроения.

Таблица 4

Характеристика систем видеоаналитики для выявления эргономических рисков

№ п/п	Программное решение	Принцип действия	Сфера применения
1	Optera (optera.space) (Россия)	Строит 3D-скелет человека из видео, оценивает позы по методике REBA, разрабатывает диаграммы перемещений.	Выявление длительных неудобных поз, повторяющихся движений, нерациональных перемещений по участку.
2	EYECONT (от «Малленом Системс» (Россия)	Выявляет эргономические рисков: наклоны, неудобные углы корпуса, работу в статичной позе, неправильные подъёмы грузов.	Оперативный контроль в цехе, фиксация нарушений в реальном времени, формирование отчётов по сменам.
3	Honeywell Safety Suite (США)	Использует компьютерное зрение и поведенческий анализ, чтобы выявлять повторяющиеся движения, длительные статические позы, опасные наклоны.	Крупные производственные площадки, где требуется контроль сотен рабочих мест. Сильной стороной является интеграция с носимыми устройствами (умные каски, браслеты), что позволяет сопоставлять видеоданные с физиологическими показателями.
4	VisioSafe / решения на базе OpenPose + кастомной логики (Швейцария, США)	Используют открытые алгоритмы для трекинга ключевых точек тела и собственные правила оценки рисков.	Подходит предприятиям, у которых уже есть инфраструктура видеонаблюдения и команда разработчиков/интеграторов, чтобы доработать систему под специфику авиастроения.
5	ErgoSentinel (концептуальные и пилотные внедрения в Европе/США; в РФ – через интеграторов) (Италия)	Специализированный эргономический видеомониторинг: оценка поз по RULA, подсчёт циклов повторяющихся движений, анализ времени в рискованной позе.	Участки с высокой долей ручного труда и повторяющихся операций (сборка, пайка, клёпка), где основной риск – хронические травмы от перегрузки.

Характерной чертой развития систем видеоаналитики является их эволюция от инструмента просто фиксации и контроля нарушений к их применению в роли генератора практических решений по оптимизации производственных процессов с позиции эргономики. Более того, система может принимать на себя функции по непосредственному управлению действиями работников непосредственно в процессе их трудовой деятельности, предупреждая возникновение усталости и эргономические травмы.

В то же время внедрение систем видеоаналитики на предприятиях авиастроения сопряжено с определенными трудностями, вызванными именно спецификой производственных процессов на данных предприятиях. Среди данных проблем выделят технические, оптические проблемы, а также юридические, этические и методологические проблемы. В рамках данной статьи мы сделали акцент именно на технических и оптических проблемах и представили их в табл. 5.

Таблица 5

Технические и оптические сложности внедрения видеоаналитики на предприятиях авиастроения

№	Проблема	Суть проблемы
1	Слепые зоны внутри фюзеляжа	Сборочные операции происходят внутри отсеков крыла, кабины пилотов, фюзеляжа. Стационарные камеры не могут проводить съемку внутри конструкции. Применение носимых камер усложняет процесс и мешает монтажникам.
2	Перекрытие обзора	Трекинг скелета работника требует непрерывную видимость суставов. При этом элементы планера, крупногабаритная оснастка, стремянки постоянно перекрывают обзор и затрудняют непрерывную съемку.
3	Нецикличность и длительность операций	Время операций в авиастроении может составлять несколько часов. Нейросети сложно размечать длинные треки, алгоритмам оценки требуется непрерывно вычислять кумулятивную нагрузку, что увеличивает ошибки распознавания.
4	Инструментальное разнообразие	Работники применяют специальные инструменты (пневмодрели, клепальные молотки, заклепочники), которые меняют естественную биомеханику движений. Система видеоаналитики должна отличать вес и габариты инструмента для корректной оценки эргономического риска.

Данные проблемы требуют творческого осмысления опыта применения видеоаналитики на промышленных предприятиях с учетом специфики авиастроительных предприятий. Анализ решений показал, что поиск идей происходит по самым разным направлениям, что подчеркивает важность вдумчивого применения систем видеоаналитики. Мы систематизировали предлагаемые решения в табл. 6.

Таблица 6

Решения по адаптации систем видеоаналитики для условий предприятий авиастроения

№ п/п	Проблема	Решение	Суть решения
1	Слепые зоны внутри фюзеляжа	Гибридные системы: стационарная сеть + мобильные модули	Размещение по периметру отсека стационарных камер с углом обзора 120–180°. Для точечного контроля применение быстросъёмных мобильных камер.
		Роботизированные и телескопические камеры	Камеры на телескопических штангах. Роботизированные тележки или дроны с камерами.
		Дополненная реальность (AR) + внешняя камера	Вывод на очки вид от внешней камеры в виде AR-подсказки. Камера закреплена снаружи, а работник видит на экране зону работ.

Окончание табл. 6

№ п/п	Проблема	Решение	Суть решения
2	Перекрытие обзора	Мультикамерные системы	Несколько камер с разных ракурсов, данные с которых объединены в один поток. Применение инструмента Out of Sight, который проводит трекинг сквозь препятствия за счёт калибровки группы сенсоров.
		Продвинутые нейросети	Нейросеть OpenPose может достраивать скелет в условиях перекрытия части тела.
		Гибридные датчики	Дополнение видеоданных данными с инерциальных сенсоров, закрепленных на теле и/или инструменте
3	Нецикличность и длительность операций	Сегментация трека	Разбивка операции на смысловые блоки («установка панели», «затяжка крепежа»). Для каждого блока отдельная оценка позы и расчёт нагрузки.
		Контекстная коррекция	Запоминание контекста операции: система помнит технологическую карту и типичные движения. При потере видимости, система сверяется с ожидаемым образом движений и корректирует трек.
4	Инструментальное разнообразие:	Обучение на специфических данных	Дообучение нейросети на примерах работы с разными инструментами. Система распознает инструмент и понимает его влияние на допустимые углы в суставах.
		Интеграция с CAD/PLM	Применение цифровой модели оснастки в роли эталона. Система проводит сравнение эталона с реальностью и меняет оценку позы в зависимости от положения и массы инструмента.
		Анализ кинематики	Алгоритмы анализируют динамику: резкие изменения углов, рывки, длительность статических поз.

Вывод

Представленные методы решения проблем позволяют адаптировать системы видеоаналитики для выявления эргономических рисков с учетом специфических черт производственных процессов именно авиастроительного комплекса. За счет этого происходит рост точности применения видеоаналитики для идентификации эргономических рисков и создается обоснованная информационная база для принятия решений о нейтрализации данных рисков. В конечном итоге устранение эргономических рисков приводит к снижению травматизма сотрудников, росту их производительности и снижению затрат на восстановление их работоспособности.

Благодарности

Работа выполнена за счет предоставленного в 2026 г. Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований

в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан

Список литературы

1. Рябчикова, И. А. Профессиональные риски работников в авиационной промышленности / И. А. Рябчикова, А. В. Петюкова // XXI век. Техносферная безопасность. – 2021. – Т. 6, № 1 (21). – С. 103-113. – DOI 10.21285/2500-1582-2021-1-103-113. – EDN EWQMEH (дата обращения 25.08.2026)

2. Эргономика в системе проектирования и испытаний вертолетов и тренажеров «Ми» : сборник научных работ, посвященный 15-летию организации подразделения эргономики в ОАО «МВЗ им. М. Л. Миля» : сборник научных трудов / под ред. А. В. Чунтул ; АО «Вертолеты России», ОАО «Московский вертолетный завод им. М. Л. Миля». – Москва : Когито-Центр, 2015. – Том 1. – 221 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430530 (дата обращения: 28.08.2026).

3. Жданько, И. М. Направления развития эргономического обеспечения создания авиационной техники военного назначения / И. М. Жданько, М. В. Найченко, В. Р. Осипов, Д. А. Абрашкин // Военно-медицинский журнал. – 2018. – № 2. Т 339 – С. 37-44 – URL: medj.rucml.ru/journal/45562d5255534d494c4d45442d41525449434c452d3732383830/ (дата обращения: 26.08.2026).

4. Невилл А Стэнтон, Вэнь-Чин Ли, Дональд Харрис Эргономика и факторы человека в авиации // Эргономика. – Январь 2017. – 60 (1):150-150 DOI 10.1080/00140139.2016.1262578 – URL: https://www.researchgate.net/publication/314108765_Ergonomics_and_Human_Factors_in_Aviation (дата обращения 26.08.2026).

5. Теоретические и практические аспекты развития отечественного авиастроения: VII Всероссийская научно-техническая конференция (Россия, г. Ульяновск 16-17 мая 2024 года): сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2024. – 111 с. – URL: https://lib.laop.ulstu.ru/venec/disk/2024/51.pdf (дата обращения 26.08.2026).

6. Новые поколения авиационно-космической техники возведут эргономические исследования в абсолют // Авиапанорама. – 2017. – №2. – С. 68-73. – URL: https://rucont.ru/efd/606241 (дата обращения: 28.08.2026).

7. Роя Ж., Эглите М., Калькис В., Калькис Х. Сравнительный анализ методов оценки эргономических рисков // Медицина труда и промышленная экология. – 2005. – № 10. – С. 9–16. (дата обращения 26.08.2026).

8. Andrzej Marek Lasota, Eunika Baron-Polańczyk A Computerized Tool for Education and Training on Ergonomic Risk Evaluation // Multidisciplinary Aspects of Production Engineering October 2018 1(1):759-765 DOI:10.2478/mape-2018-0096 https://www.researchgate.net/publication/328336990_A_Computerized_Tool_for_Education_and_Training_on_Ergonomic_Risk_Evaluation (дата обращения 26.08.2026)

9. Гасанов, Н. Э. Применение видеоаналитики и искусственного интеллекта для предупреждения производственного травматизма в строительстве / Н. Э. Гасанов // Вестник науки. – 2026. – Т. 5, № 98. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-videoanalitiki-i-iskusstvennogo-intellekta-dlya-preduprezhdeniya-proizvodstvennogo-travmatizma-v-stroitelstve/viewer (дата обращения: 27.08.2026).

10. Asadi H. A computer vision approach for classifying isometric grip force exertion levels // Ergonomics. – 2020. – Vol. 63, № 8. – P. 1–12. – DOI: 10.1080/00140139.2020.1745898.

11. Яковлева, М. В. Оценка эффективности внедрения нейросетевой видеоаналитики на машиностроительных предприятиях / М. В. Яковлева, А. А. Низовая // Экономика высокотехнологичных производств. – 2024. – Т. 5, № 2. – С. 185-202. – DOI 10.18334/evp.5.2.121182. – EDN RGQYSE. (дата обращения: 27.08.2026).

УДК 620.9:004.94

METHODOLOGICAL FEATURES OF BUILDING DIGITAL TWINS FOR DECENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEMS

Kabanov P.A., Director of the «Training Center» Branch, Republican Unitary Enterprise of Power Engineering «Vitebskenergo», Vitebsk, Republic of Belarus;
ORCID: 0009-0005-5803-7695;
E-mail: pkabanov@gmail.com;
Zorina T.G., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory for Sustainable Energy Development, Institute of Power Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus;
ORCID: 0000-0001-9665-2756;
E-mail: Tanyazorina@tut.by;
Somov A.G., Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer, Higher School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University;
ORCID: 0009-0004-2592-9198;
E-mail: somovspb@yandex.ru;
Skvortsova I.V., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University St. Petersburg, Russia;
ORCID: 0000-0003-2350-6621;
E-mail: Inga.V.Skvortsova@yandex.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ СИСТЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Кабанов П.А., директор филиала «Учебный центр» Витебского республиканского унитарного предприятия электроэнергетики «Витебскэнерго», г. Витебск, Республика Беларусь;
ORCID: 0009-0005-5803-7695;
E-mail: pkabanov@gmail.com;
Зорина Т.Г., д.э.н., доцент, заведующая лабораторией «Устойчивое энергетическое развитие» Института энергетики НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь;
ORCID: 0000-0001-9665-2756;
E-mail: Tanyazorina@tut.by;
Сомов А.Г., к.э.н., старший преподаватель Высшей школы производственного менеджмента Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого;
ORCID: 0009-0004-2592-9198;
E-mail: somovspb@yandex.ru;
Скворцова И.В., к.э.н., доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия;
ORCID: 0000-0003-2350-6621;
E-mail: Inga.V.Skvortsova@yandex.ru

Abstract

The relevance of the study stems from the fact that most published methodologies for building digital twins of heat supply facilities are oriented toward large-scale centralized district heating systems with branched networks and unified dispatching, while decentralized systems – sets of geographically dispersed boiler houses, individual heating points and autonomous local sources – remain considerably less developed from a methodological standpoint. The purpose of the article is to systematize the

methodological features of building digital twins for decentralized heat supply systems and to propose a generalized architecture of such a twin that accounts for the specifics of these facilities. The study applies comparative analysis of existing digital twin model classes, generalization of their application practice in heat supply tasks, and structural-functional modeling of the digital twin architecture. It is shown that decentralized systems differ from centralized ones by the multiplicity and heterogeneity of sources, the non-uniformity of metering equipment, the absence of a unified dispatching platform, and a pronounced seasonal change of operating regimes, which makes both purely physical models – due to excessive documentation and computational requirements – and purely data-driven models – due to their instability during regime changes – poorly suited for this context. It is substantiated that the most adequate architecture for decentralized facilities is a three-layer hybrid model combining passport, telemetry and model layers, with a mandatory schedule-driven switching mechanism between the heating and non-heating periods and a module for cross-verification of "fuel – source – consumers" energy balances for metrological diagnostics. Methodological principles are proposed for consolidating heterogeneous metering archives and for assessing the climate sensitivity of local facilities. The findings can be used when drafting technical specifications for the digitalization of local heat supply systems of energy utilities.

Keywords: digital twin; decentralized heat supply; local heat supply systems; hybrid models; grey-box models; heat load forecasting; heat energy metering units; energy balance; energy digitalization; climate sensitivity

Аннотация

Актуальность работы обусловлена тем, что подавляющее большинство опубликованных методик построения цифровых двойников теплоснабжающих объектов ориентировано на крупные системы централизованного теплоснабжения с разветвлённой тепловой сетью и единой диспетчеризацией, тогда как децентрализованные системы – совокупности территориально разобщённых котельных, индивидуальных тепловых пунктов и локальных источников с автономным управлением – остаются методически проработанными в существенно меньшей степени. Цель статьи – систематизировать методические особенности построения цифровых двойников децентрализованных систем теплоснабжения и предложить обобщённую архитектуру такого двойника, учитывающую специфику подобных объектов. В работе применены методы сравнительного анализа существующих классов моделей цифровых двойников, обобщения практики их применения в задачах теплоснабжения и структурно-функционального моделирования архитектуры цифрового двойника. Показано, что децентрализованные системы отличаются от централизованных множественностью и разнотипностью источников, неоднородностью измерительного оборудования, отсутствием единой диспетчерской платформы и выраженной сезонной сменой эксплуатационных режимов, что делает малопригодными как «чистые» физические модели ввиду избыточных требований к документации и вычислительным ресурсам, так и «чистые» модели на данных ввиду их неустойчивости при смене режима. Обосновано, что наиболее адекватной архитектурой для децентрализованных объектов является трёхслойная гибридная модель, объединяющая паспортный, телеметрический и модельный слои с обязательным механизмом регламентного переключения между отопительным и межотопительным периодами и модулем перекрёстной верификации энергетических балансов «топливо – источник – потребители» для метрологической диагностики. Предложены методические принципы консолидации разнородных архивов приборов учёта и оценки климатической чувствительности локальных объектов. Отдельно отмечено, что выбор календарного, а не автоматического триггера смены режима и включение в архитектуру единого справочника атрибутов паспортного слоя составляют ключевое методическое отличие предлагаемого решения от методик, разработанных для крупных систем

централизованного теплоснабжения. Материалы статьи могут быть использованы при разработке технических заданий на цифровизацию локальных систем теплоснабжения энергетических организаций.

Ключевые слова: цифровой двойник, децентрализованное теплоснабжение, локальные системы теплоснабжения, гибридные модели, Grey-box модели, прогнозирование тепловой нагрузки, узлы учёта тепловой энергии, энергетический баланс, цифровизация энергетики, климатическая чувствительность

Introduction

The digitalization of the energy sector is naturally extending to heat supply systems, for which the concept of a digital twin (DT) – a virtual model of a physical object synchronized with it through a stream of operational data – is regarded as an integration platform for regime and reliability management [1, 2]. The bulk of methodological developments in this field relate to centralized district heating systems (DHS): large heat networks with one or several sources, a branched topology and, as a rule, a unified dispatching platform [3, 4]. At the same time, a significant and, in many regions, growing share of the heat load is covered by decentralized systems – sets of geographically dispersed boiler houses of small and medium capacity, individual and central heating points, and autonomous sources running on local fuel – which are operated by different owners, equipped with heterogeneous metering fleets, and lack a common dispatching shell.

Directly transferring architectural solutions proven for large heat networks to decentralized facilities runs into constraints that are rarely addressed as a separate methodological subject. The purpose of the article is to systematize the methodological features of building digital twins for decentralized heat supply systems and to form a generalized architecture of such a twin that accounts for the specifics of these facilities. To achieve this purpose, the following tasks were addressed: identify the features that distinguish decentralized heat supply systems from centralized ones from the standpoint of the digitalization task; assess the applicability of the principal classes of DT models to decentralized facilities; propose a methodological architecture of a digital twin comprising data layers and decision-support functional modules.

Methodology

The study is built as a methodological generalization combining three groups of methods. First, a comparative analysis of three classes of DT models – physical (White-box), empirical (Black-box) and hybrid (Grey-box) [5–8] – against criteria of forecast accuracy, robustness under extrapolation, physical interpretability, computational cost, data and technical-documentation requirements, and diagnostic potential. Second, structural-functional modeling used to form a generalized multilayer architecture of a digital twin for a decentralized heat supply system. Third, a generalization of the practice of consolidating heterogeneous metering data accumulated while building digital twins of local boiler houses – regarding rules for controlling the completeness of daily archives, merging meter readings when devices are replaced, and choosing an acceptable threshold for missing data.

Taken together, these methods make it possible to move from a general taxonomy of models, developed predominantly for large heat networks, to methodological solutions applicable to distributed facilities of small and medium capacity.

Main part

1. Decentralized heat supply systems as an object of digitalization

In this article, a decentralized heat supply system is understood as a set of geographically dispersed heat sources of small and medium capacity (boiler houses, individual and group heating points, autonomous sources), each of which serves a limited group of consumers and is operated without integration into a single upper-level dispatching system. Such facilities differ from centralized heat supply systems in several principal respects.

Multiplicity and heterogeneity of sources. Instead of one or a few large sources sharing a common heat network, a digital twin of a decentralized system must cover tens or hundreds of facilities of varying capacity, construction year and degree of wear, which makes the task of scaling the model across the entire facility portfolio no less important than the accuracy of any single model.

Heterogeneity of the metering infrastructure. Heat energy metering units at different facilities are typically implemented on different types of heat calculators with different data-export protocols and daily-report formats; source metering units are complemented by gas or other fuel meters. Consolidating these archives into a single feature array is itself a methodological task that precedes the construction of the forecasting models proper.

Absence of a unified dispatching platform. Unlike DHS, where the telemetry of a supervisory control and data acquisition (SCADA) system is usually centralized, decentralized facilities often belong to different owners – municipal and private operating organizations – which requires a separate design of the data-transfer protocol for the digital twin.

Pronounced seasonal regime change. For an individual local source, the transition from the heating period (HP) to the non-heating period (NHP), during which the load drops to domestic hot water (DHW) only, manifests as an abrupt jump rather than the smooth transition typical of a large heat network with high thermal inertia. This makes a calendar-based, schedule-driven trigger for the regime change a more reliable methodological solution than automatic detection of the change point directly from the data.

Scale effect in load aggregation. In a large network, the randomness of DHW draw-off by individual buildings is mutually offset when aggregated across hundreds of consumers; for a local source serving a small number of buildings, this stochasticity manifests substantially more strongly in the relative forecast error, which must be taken into account when setting the model's accuracy requirements.

2. Applicability of digital twin model classes to decentralized facilities

Full-scale physical models (White-box), implemented in environments such as EnergyPlus, TRNSYS or computational fluid dynamics packages, provide the most rigorous physical description of the processes involved, but require detailed technical documentation and substantial computational resources [3]; reproducing such a model for each of the tens of heterogeneous decentralized facilities is practically infeasible. Compact physical models, based on mass- and energy-balance equations on the network graph [5], remove part of the computational burden and are better suited to local facilities with simple topology, but typically consider a steady-state regime and do not account for thermal inertia.

Data-driven models (Black-box) – from regressions to ensemble methods and recurrent networks – provide high accuracy within the training distribution [7], but lose consistency once outside its bounds, in particular when the heating regime switches to the non-heating one: without an explicit adaptation mechanism they keep reproducing the «heating» load level well after it has actually disappeared. For decentralized facilities, where the history of continuous observations for an individual source is often shorter, this instability is more pronounced.

Hybrid models (Grey-box), combining a physical structure with parameter identification or data-driven residual correction [6, 8], form the most balanced solution across the full set of criteria: they retain the physical interpretability of parameters, which is important for equipment-condition diagnostics, while adapting to the actual behaviour of a specific facility. It is precisely this class of models that is recommended as the methodological basis of a digital twin for a decentralized heat supply system, on the understanding that the key addition to the “standard” Grey-box scheme for decentralized facilities is an explicit, schedule-driven regime-switching mechanism rather than residual correction alone.

The generalized characteristics of the model classes considered, as applied to decentralized facilities, are presented in Table 1.

Table 1

Comparative characteristics of digital twin model classes as applied to decentralized heat supply systems

Criterion	White-box (full-scale)	White-box (compact)	Black-box	Grey-box
Forecast accuracy	High (given complete data)	Medium	High in normal conditions, low at regime change	High, robust at regime change
Robustness under extrapolation	High	Medium	Low	Medium-to-high
Physical interpretability	High	High	Low	Medium-to-high
Computational cost	Very high	Low	Low	Low
Technical-documentation requirements	High	Medium	Low	Medium
Suitability for mass coverage of facilities	Low	Medium	Medium	High
Diagnostic potential	High	Medium	Low	High

3. Methodological architecture of a digital twin for a decentralized heat supply system

Based on the analysis performed, a three-layer methodological architecture is proposed, supplemented by two decision-support functional modules (Figure 1).

The passport layer is formed at the stage preceding telemetry collection and includes technical data sheets of the sources (capacity, temperature schedule, construction year), characteristics of the heat networks (length, diameters, insulation type), and a register of the buildings served. For decentralized facilities it is essential that the passport layer be formed from a single attribute directory, independent of the facility's owner: without unifying reference and master data at this stage, subsequent comparison of indicators across different sources loses its meaning.

The telemetry layer solves the task of consolidating daily metering archives collected from heterogeneous equipment. It is advisable to fix formalized rules: merging readings when a device is replaced within the period under analysis; selecting into the working panel only facilities with a share of complete days no lower than a set threshold (e.g., at least 95%); closing single gaps of no more than a few days by linear interpolation while excluding longer gaps. Such rules reduce the risk that differences in telemetry quality between facilities are mistakenly interpreted by the model as meaningful differences in their thermal behaviour.

The model layer implements a Grey-box architecture – “compact physical model plus residual corrector” – with a mandatory regime-switching block: during the heating period the forecast is produced by an adaptive model accounting for load lags, while upon the scheduled end date of the heating period the target level switches to the domestic-hot-water load model, which is methodologically preferable to a fully automatic detection of the regime change, since the transition date is normally known to the operating organization in advance.

The diagnostic module performs cross-verification of the “fuel – source – consumers” energy balance for each facility. Since decentralized sources are geographically dispersed and belong

to different owners, regular metrological audits of each of them by external services are difficult to organize; the digital twin thereby performs the function of continuous remote monitoring of measurement-channel reliability, revealing situations that are physically impossible under consistent balances.

The climate-sensitivity and scenario-analysis module evaluates the change in seasonal heat consumption and fuel use under a uniform change in outdoor air temperature, using a linear-transfer method applied to the actual heating period, with the range of shifts tied to climate scenarios [9]. For decentralized systems it is methodologically advisable to perform this assessment for each facility separately rather than for the system as a whole, since the climate sensitivity of local sources varies considerably depending on their scale and load structure.

Finally, since the forecasting and diagnostic outputs of the digital twin represent independent value for the economic management of decentralized assets – in particular, for the differentiated justification of heat tariffs for individual local sources – the architecture should be supplemented with a module for feeding forecast indicators into the tariff and investment planning loop [10].

The proposed methodological architecture of a digital twin for a decentralized heat supply system is shown in Figure 1.

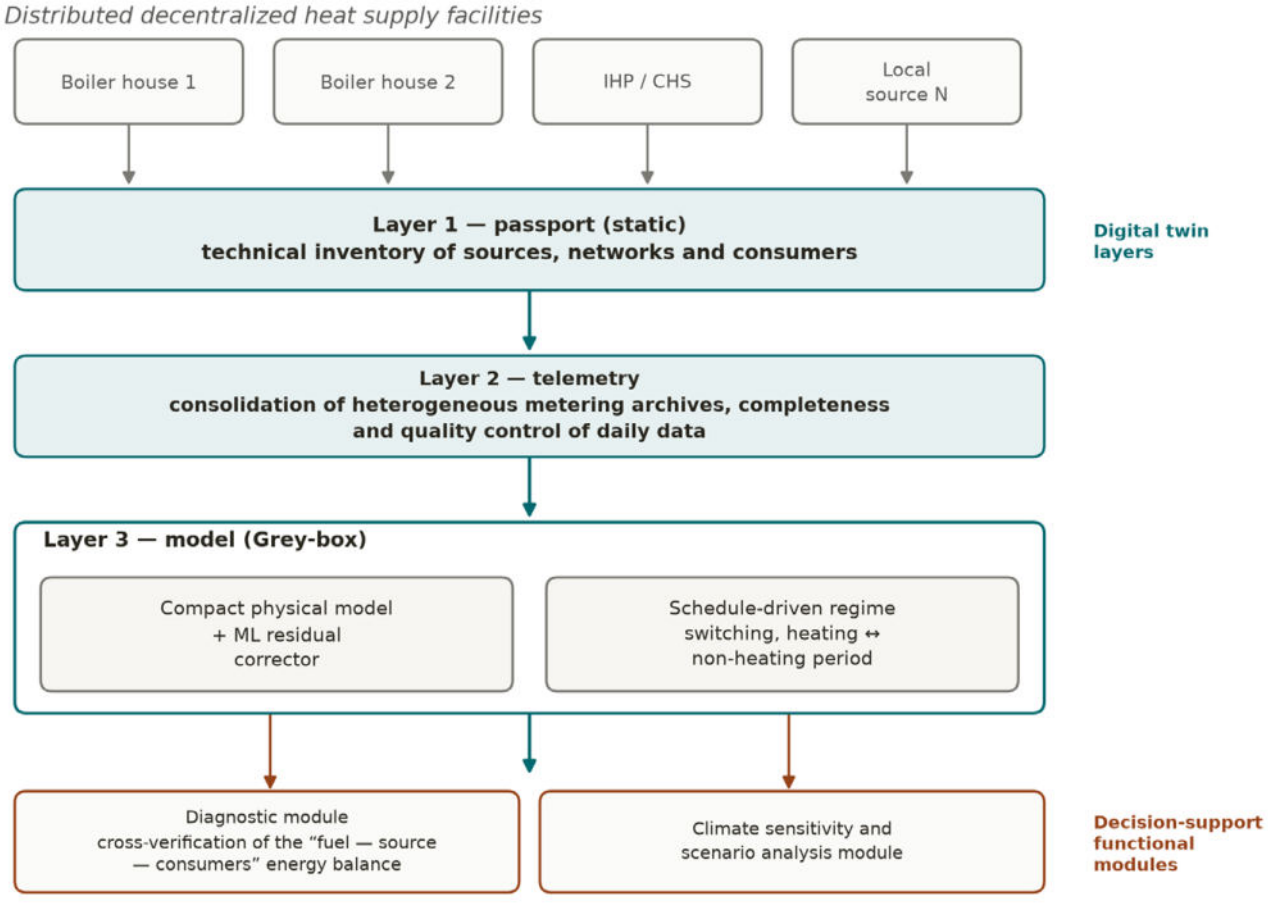


Figure 1. Methodological architecture of a digital twin for a decentralized heat supply system

Conclusions

1. Decentralized heat supply systems differ from centralized ones by the multiplicity and heterogeneity of sources, the heterogeneity of the metering infrastructure, the absence of a unified dispatching platform, an abrupt seasonal regime change, and a pronounced scale effect in load aggregation, which does not allow methodologies for building digital twins developed for large heat networks to be transferred directly.

2. A comparative analysis of model classes shows that, for decentralized facilities as for centralized ones, a Grey-box architecture is preferable; its distinction in the decentralized context lies in the mandatory nature of an explicit, schedule-driven mechanism for switching between the heating and non-heating regimes, rather than residual correction from data alone.

3. Forming the telemetry layer of a digital twin for a decentralized system should rely on formalized rules for consolidating heterogeneous metering archives (data completeness threshold, rules for merging readings when devices are replaced, a limit on the duration of gaps that may be closed) and on a single attribute directory for the passport layer, independent of the facility's owner.

4. The diagnostic function of a digital twin – cross-verification of the "fuel – source – consumers" energy balance – acquires independent practical significance for decentralized systems as a tool for the remote metrological audit of geographically dispersed facilities.

5. Assessing climate sensitivity and subsequently using the digital twin's forecast indicators in tariff and investment planning is advisable at the level of individual local facilities rather than the system as a whole, since the scale and load structure of decentralized sources differ substantially.

Acknowledgement

The research was carried out with the financial support of the BRFFR within the framework of grant F25SPbG-007 dated 01.04.2026 and the Saint Petersburg State Autonomous Institution "Fund for Support of Scientific, Scientific-Technical and Innovation Activities" under Contract № 25-RB-09-28 dated 23.12.2025.

References

1. Grieves, M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication // White Paper. – 2014. – 7 p.

2. Tao, F. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art / F. Tao, H. Zhang, A. Liu, A. Y. C. Nee // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2019. – Vol. 15, № 4. – P. 2405–2415.

3. Frederiksen, S. District Heating and Cooling / S. Frederiksen, S. Werner. – Lund : Studentlitteratur AB, 2013. – 924 p.

4. Lund, H. 4th Generation District Heating (4GDH) / H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire [et al.] // Energy. – 2014. – Vol. 68. – P. 1–11.

5. Guelpa, E. Simulation model of a large district heating network for operational optimization / E. Guelpa, V. Verda // Energy. – 2019. – Vol. 175. – P. 693–703.

6. Bacher, P. Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings / P. Bacher, H. Madsen // Energy and Buildings. – 2011. – Vol. 43, № 7. – P. 1511–1522.

7. Breiman, L. Random Forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, № 1. – P. 5–32.

8. Li, P. Physics-oriented architecture of LSTM for building thermal dynamics modeling / P. Li, B. Dong, R. Li, Z. Qi // Applied Energy. – 2022. – Vol. 317. – Art. 119187.

9. Climate Change 2021: The Physical Science Basis : Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. by V. Masson-Delmotte [et al.]. – Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2021. – 2391 p.

10. Zorina, T. G. Optimizatsiya tarifnoy politiki v energetike na osnove prediktivnogo modelirovaniya teplovykh nagruzok s ispol'zovaniem neyronnykh setey [Optimization of tariff policy in the energy sector based on predictive modeling of heat loads using neural networks] / T. G. Zorina, O. I. Yurkevich, P. A. Kabanov // Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. – 2025. – № 3 (39). – P. 72–87.

УДК 004.8:658.5

RISKS OF ALGORITHMIC MANAGEMENT OF MANUFACTURING PROCESSES

Kalacheva D.A., student, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-9564-1738;
Nguyen Vu Linh, Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam;
Khamitova D.V., Ph.D. in Engineering Sciences, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0002-0122-3639

РИСКИ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Калачева Д.А., студент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-9564-1738;
Нгуен Ву Линь, Ханойский промышленный университет, г. Ханой, Вьетнам;
Хамитова Д.В., к.т.н., ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0002-0122-3639

Abstract

The digital transformation of manufacturing has increased the use of algorithmic systems for production scheduling, employee monitoring, quality control, equipment maintenance, and operational decision-making. Although these technologies can improve productivity and coordination, their integration into manufacturing environments creates significant organizational, technological, social, and regulatory risks. This article examines algorithmic management as a sociotechnical system that influences both production efficiency and working conditions. The study applies a qualitative comparative analysis of international publications, regulatory documents, occupational safety reports, and artificial intelligence governance frameworks published between 2022 and 2025. The analysis identifies seven interconnected categories of risk: unreliable production data, insufficient transparency of automated decisions, cybersecurity vulnerabilities, workforce intensification, discriminatory performance evaluation, loss of professional autonomy, and unclear organizational accountability. Particular attention is paid to the relationship between algorithmic optimization and occupational safety, since decisions that improve short-term productivity may simultaneously increase fatigue, procedural violations, and operational vulnerability. Available evidence from manufacturing environments indicates that employee participation in technology implementation can improve the compatibility of productivity objectives and working conditions. The article proposes a practical governance framework that combines data quality control, meaningful human oversight, cybersecurity safeguards, employee consultation, continuous impact assessment, and clearly assigned managerial responsibility. The findings demonstrate that algorithmic management cannot be evaluated solely through production indicators because its effects extend to employee well-being, operational resilience, information security, and institutional trust. Sustainable implementation requires organizations to preserve human authority over consequential decisions and establish transparent procedures for reviewing automated recommendations. The proposed approach can support industrial enterprises in designing responsible digital transformation strategies while reducing the probability of technological failures and adverse social outcomes.

Keywords: algorithmic management, artificial intelligence, manufacturing processes, digital transformation, occupational safety, cybersecurity, human oversight, production management, workforce monitoring, industrial risks

Аннотация

Цифровая трансформация производства привела к расширению использования алгоритмических систем для планирования производственных процессов, мониторинга персонала, контроля качества, технического обслуживания оборудования и принятия оперативных решений. Несмотря на то что эти технологии способны повысить производительность и улучшить координацию, их внедрение в производственную среду сопряжено со значительными организационными, технологическими, социальными и регуляторными рисками. В данной статье алгоритмическое управление рассматривается как социотехническая система, влияющая как на эффективность производства, так и на условия труда. Исследование базируется на качественном сравнительном анализе международных публикаций, нормативных документов, отчетов по охране труда и принципов регулирования искусственного интеллекта, изданных в период с 2022 по 2025 год. В ходе анализа выявлено семь взаимосвязанных категорий рисков: недостоверность производственных данных, недостаточная прозрачность автоматизированных решений, уязвимости в сфере кибербезопасности, интенсификация труда, дискриминационная оценка эффективности, утрата профессиональной автономии и неопределенность в вопросах организационной ответственности. Особое внимание уделяется взаимосвязи между алгоритмической оптимизацией и охраной труда, поскольку решения, повышающие краткосрочную производительность, могут одновременно способствовать росту утомляемости, увеличению числа нарушений регламентов и повышению операционной уязвимости. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что участие работников в процессе внедрения технологий позволяет лучше согласовать цели по повышению производительности с условиями труда. В статье предлагается практическая модель управления, сочетающая контроль качества данных, реальный контроль со стороны человека, меры по обеспечению кибербезопасности, консультации с персоналом, непрерывную оценку последствий и четкое распределение управленческой ответственности. Результаты исследования показывают, что алгоритмическое управление нельзя оценивать исключительно по производственным показателям, так как его влияние распространяется на благополучие сотрудников, операционную устойчивость, информационную безопасность и институциональное доверие. Для устойчивого внедрения технологий организациям необходимо сохранять за человеком право принятия ключевых решений и устанавливать прозрачные процедуры пересмотра автоматизированных рекомендаций. Предложенный подход может помочь промышленным предприятиям в разработке стратегий ответственной цифровой трансформации, снижая при этом вероятность технологических сбоев и негативных социальных последствий.

Ключевые слова: алгоритмическое управление, искусственный интеллект, производственные процессы, цифровая трансформация, охрана труда, кибербезопасность, контроль со стороны человека, управление производством, мониторинг персонала, производственные риски.

Introduction

Manufacturing enterprises increasingly use digital systems to coordinate equipment, materials, production schedules, and employee activities. Artificial intelligence, industrial sensors, predictive analytics, and connected production platforms enable organizations to collect operational information continuously and convert it into managerial recommendations or automated decisions.

Algorithmic management can be understood as the use of programmed procedures and data-driven systems to coordinate work, evaluate performance, distribute tasks, and influence orga-

nizational decisions. In manufacturing, this approach extends beyond conventional automation because it affects both technical operations and the organization of human labor [1].

The potential advantages include faster scheduling, improved equipment utilization, earlier detection of production defects, and more consistent operational planning. However, these benefits do not eliminate the risks associated with incomplete data, opaque decision-making, excessive monitoring, cyberattacks, and inappropriate performance incentives.

Evidence from international employment research suggests that approximately 7% of surveyed manufacturing employees reported being managed by artificial intelligence. This figure reflects employee awareness rather than the full prevalence of algorithmically supported managerial decisions. The same research identifies work intensification, diminished autonomy, and privacy concerns among the principal challenges associated with algorithmic management [2].

The objective of this article is to identify the major risks associated with algorithmic management of manufacturing processes and develop practical recommendations for responsible implementation.

The central research question concerns how manufacturing enterprises can benefit from digital coordination while maintaining operational reliability, employee protection, and managerial accountability.

Research methodology

The study uses qualitative comparative analysis of publications and official documents issued between 2022 and 2025. The source base includes international research on algorithmic management, reports on employment and occupational safety, artificial intelligence risk management frameworks, cybersecurity assessments, regulatory documents, and manufacturing-related experimental evidence.

The analysis was conducted in three stages. First, the functional characteristics of algorithmic management in manufacturing were identified. Second, documented risks were grouped according to their technological, organizational, social, and legal implications. Third, available governance recommendations were compared to develop an integrated framework for industrial enterprises.

The research does not claim to present original enterprise-level statistical measurements. Its contribution consists of synthesizing verified institutional evidence and translating general governance principles into recommendations relevant to manufacturing environments.

This methodological approach is appropriate because algorithmic management operates across multiple organizational domains. A purely technical assessment would not capture the interactions between production optimization, workforce behavior, occupational safety, and institutional responsibility.

The main part

Algorithmic management in manufacturing typically integrates information from production equipment, industrial sensors, enterprise information systems, digital workstations, access controls, and employee performance records.

These data can be used to allocate production tasks, determine work sequences, adjust schedules, predict maintenance requirements, identify deviations, and assess individual or collective performance. Some systems provide recommendations to supervisors, while others automatically modify operational settings or issue instructions directly to employees.

The distinction between decision support and automated decision-making is essential. A recommendation system preserves managerial discretion if supervisors can realistically understand, challenge, and reject its outputs. By contrast, nominal human approval does not constitute meaningful oversight when employees or managers are expected to accept algorithmic recommendations without independent evaluation.

Manufacturing environments also differ from conventional office settings because digital decisions can have immediate physical consequences. An inaccurate recommendation may alter machine utilization, compress recovery time between operations, reduce inspection intervals, or place employees in hazardous situations.

Occupational safety research indicates that artificial intelligence-based worker management can create both protective and harmful effects depending on system design, organizational objectives, and implementation practices [3].

Therefore, algorithmic management should be understood as a sociotechnical arrangement rather than an autonomous software instrument.

The reliability of algorithmic management depends on the quality, completeness, and contextual relevance of production data. Industrial environments generate substantial volumes of information, but high data volume does not guarantee accurate interpretation.

Sensors may become miscalibrated, production records may contain missing values, and historical databases may reflect operating conditions that are no longer relevant. Changes in raw materials, equipment configuration, staffing levels, or supplier reliability can reduce the usefulness of previously trained models.

A scheduling system may recommend accelerated production because historical data indicate available capacity while failing to account for current equipment deterioration. Similarly, a performance evaluation system may classify an employee as inefficient without recognizing that production delays were caused by defective materials, machine interruptions, or inadequate staffing.

These situations create a risk of false precision: numerical outputs appear objective even when the underlying data cannot support reliable conclusions.

Artificial intelligence risk management guidance emphasizes that trustworthy systems require ongoing evaluation of validity, reliability, transparency, security, and contextual suitability [4].

Manufacturing enterprises should therefore establish procedures for sensor verification, data source documentation, systematic correction of identified errors, and periodic reassessment of algorithmic performance under changing operational conditions.

Opaque decision-making represents a significant challenge when algorithmic recommendations influence production targets, employee assignments, compensation, disciplinary measures, or maintenance priorities.

If workers and supervisors cannot understand the operational basis of a decision, they may be unable to identify mistakes or challenge inappropriate outcomes. Limited transparency also complicates incident investigations because responsibility may be distributed among software providers, internal information technology departments, production managers, and executive leadership.

In manufacturing, accountability becomes especially important when automated recommendations affect physical safety. An enterprise cannot transfer responsibility for unsafe instructions to a software system or an external vendor.

Meaningful transparency does not require disclosure of every technical detail. It requires understandable information about the purpose of the system, the categories of data used, the factors that influence decisions, the limitations of the technology, and the procedures available for review or correction.

Organizations should distinguish between low-consequence operational recommendations and decisions that materially affect safety, employment conditions, or individual rights. High-consequence decisions require documented review, identifiable human responsibility, and accessible opportunities for contestation.

Without these safeguards, algorithmic management can weaken institutional accountability while creating an unjustified perception of technological neutrality.

Algorithmic management can support occupational safety by identifying hazardous conditions, monitoring equipment status, and warning employees about operational deviations. However, the same technological infrastructure can generate new risks when production speed becomes the dominant optimization objective.

Continuous performance monitoring may encourage workers to reduce rest periods, bypass verification procedures, or maintain unsafe work rhythms. Digitally assigned production targets

can also fail to consider individual fatigue, task complexity, ergonomic limitations, and unexpected changes in the production environment.

In surveyed manufacturing workplaces, 76% of employees subject to algorithmic management and 78% of employees interacting with artificial intelligence in other ways reported an increased pace of work. These figures do not establish that algorithmic management independently causes greater acceleration than other uses of artificial intelligence in manufacturing. They do, however, demonstrate that faster work is widespread among surveyed users and should be considered in occupational risk assessments [2].

Smart monitoring technologies can improve hazard detection, but they also raise questions concerning proportionality, privacy, data ownership, employee acceptance, and the possibility of excessive surveillance [5].

A responsible industrial approach should treat worker fatigue, procedural compliance, near misses, and employee feedback as relevant performance indicators. Productivity growth cannot be regarded as sustainable when it is accompanied by increasing accident exposure, psychological strain, or operational errors.

The integration of production equipment, enterprise software, industrial sensors, and cloud-based analytics expands the technological attack surface of manufacturing organizations.

Algorithmic management systems depend on interconnected data flows. Consequently, compromised input data, unauthorized system access, manipulated recommendations, or disrupted communication channels can affect both information security and physical operations.

A cyberattack may interfere with scheduling, conceal equipment malfunctions, distort employee assignments, or interrupt essential production processes. Particular vulnerability arises when outdated industrial equipment is connected to modern digital platforms without adequate segmentation and access control.

Cybersecurity foresight research identifies risks associated with software supply chains, legacy systems within cyber-physical environments, concentrated service-provider dependencies, and malicious uses of artificial intelligence [6].

Manufacturing enterprises should implement network segmentation, restricted access, incident response procedures, secure supplier management, regular security testing, and operational recovery plans. They should also preserve the ability to continue critical production activities when algorithmic systems are temporarily unavailable.

Excessive dependence on a single software provider or proprietary platform can create additional strategic risks. Responsible procurement should therefore consider interoperability, data portability, contractual transparency, and the availability of alternative operational procedures.

Algorithmic evaluations may reproduce existing organizational inequalities when historical data reflect unequal access to training, equipment, favorable shifts, or promotion opportunities.

For example, employees assigned to older machinery may appear less productive than colleagues working with modern equipment. Workers returning from medical leave or employees performing more complex operations may also receive unfavorable assessments when contextual differences are excluded from automated comparisons.

Discrimination does not require an explicit intention to treat individuals unfairly. It can emerge when apparently neutral indicators produce systematically unequal outcomes across employee groups.

Extensive monitoring also creates privacy risks. Location tracking, wearable devices, access records, video analytics, and behavioral monitoring may collect more information than is necessary for legitimate production objectives.

Legal frameworks increasingly recognize the sensitivity of artificial intelligence applications in employment and worker management. Regulation (EU) 2024/1689 identifies certain employment-related artificial intelligence systems as high-risk and establishes requirements connected with risk management, data governance, transparency, and human oversight [7].

Although specific legal obligations depend on jurisdiction and implementation circumstances, the underlying organizational principles are broadly relevant: data collection should be proportionate, employees should receive meaningful information, and consequential decisions should remain subject to human review.

Preserving professional autonomy is equally important. Experienced production workers often recognize abnormal sounds, material defects, unsafe conditions, and coordination problems that may not be adequately represented in digital datasets.

Algorithmic systems should support professional judgment rather than eliminate it.

Responsible algorithmic management requires a governance framework that integrates technological controls with organizational and social safeguards.

First, enterprises should define the legitimate objectives of each system before implementation. Production optimization, equipment monitoring, and employee evaluation should not be combined without examining the implications for privacy, fairness, and safety.

Second, organizations should establish clear accountability. Every consequential algorithmic application should have an identified organizational owner responsible for system performance, documented limitations, incident investigation, and corrective action.

Third, meaningful human oversight must be preserved. Supervisors should have the competence, authority, and practical opportunity to question recommendations and interrupt unsafe automated processes.

Fourth, artificial intelligence governance should be incorporated into existing enterprise management systems. International standards provide an organizational framework for establishing, maintaining, and continually improving structured artificial intelligence management practices [8].

Fifth, workers should participate in system design and implementation. Experimental research involving three manufacturing firms in Germany indicates that consultation among employees, managers, and worker representatives can help develop technological arrangements perceived as compatible with productivity and improved job quality. However, the findings originate from a limited experimental setting and should not be generalized without additional evidence [9].

Sixth, organizations should conduct recurring assessments of operational, social, and occupational safety impacts. Preventive measures may include transparent communication, training, psychosocial risk assessment, limits on excessive monitoring, and procedures for employee feedback [10].

Finally, procurement contracts should specify access to relevant documentation, incident notification requirements, data handling rules, system update procedures, and responsibilities for technical support.

The effectiveness of algorithmic management depends not only on computational accuracy but also on institutional capacity to recognize limitations, correct failures, and maintain trust.

Conclusion

Algorithmic management is becoming an important component of digital manufacturing because it enables continuous coordination of production resources, equipment, and human activities. Its implementation can contribute to operational efficiency, improved planning, and earlier identification of production deviations.

At the same time, manufacturing enterprises face interconnected risks related to unreliable data, opaque decision-making, cybersecurity vulnerabilities, intensive workforce monitoring, discrimination, reduced employee autonomy, and uncertain responsibility.

These risks cannot be managed effectively through technical measures alone. Responsible implementation requires an integrated approach that combines reliable data governance, meaningful human oversight, occupational safety safeguards, cybersecurity preparedness, transparent decision-making, and employee participation.

The central condition for sustainable industrial digitalization is the preservation of human responsibility for consequential operational and employment decisions. Algorithmic systems should

remain tools that support accountable management rather than mechanisms that obscure responsibility or subordinate worker safety to short-term production targets.

Future research should examine sector-specific implementation practices, long-term occupational outcomes, and the effectiveness of different governance models across manufacturing enterprises.

References

1. The Algorithmic Management of Work and Its Implications in Different Contexts / S. Baiocco, E. Fernández-Macías, U. Rani, A. Pesole. – Seville : European Commission, 2022.

2. Artificial Intelligence, Job Quality and Inclusiveness / Organisation for Economic Co-operation and Development // OECD Employment Outlook 2023. – Paris: OECD Publishing, 2023.

3. Artificial Intelligence for Worker Management: Implications for Occupational Safety and Health / European Agency for Safety and Health at Work. – 2022.

4. Artificial Intelligence Risk Management Framework: AI RMF 1.0 / National Institute of Standards and Technology. – Gaithersburg : NIST, 2023.

5. Smart Digital Monitoring Systems for Occupational Safety and Health: Uses and Challenges / European Agency for Safety and Health at Work. – 2023.

6. Identifying Emerging Cyber Security Threats and Challenges for 2030 / European Union Agency for Cybersecurity. – 2023. – DOI 10.2824/117542.

7. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence / European Parliament, Council of the European Union // Official Journal of the European Union. – 2024.

8. ISO/IEC 42001:2023. Information Technology – Artificial Intelligence – Management System / International Organization for Standardization. – Geneva : ISO, 2023.

9. Milanez, A. Exploring Win-Win Outcomes of Algorithmic Management: Lessons from a Laboratory Experiment on Worker Consultation / A. Milanez // OECD Artificial Intelligence Papers. – 2025. – No. 43. – DOI 10.1787/84b59397-en.

10. Artificial Intelligence for Worker Management: Prevention Measures / European Agency for Safety and Health at Work. – 2022.

УДК 004.896

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МАСТЕРСКОЙ ПО РЕМОНТУ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Канькина О.А., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0006-7981-4622

COMPUTER HARDWARE REPAIR WORKSHOP INFORMATION SYSTEM

Kankina O.A., Master's student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0006-7981-4622

Аннотация

В статье представлена разработка информационной системы для мастерской по ремонту средств вычислительной техники, направленной на повышение эффективности работы предприятия за счёт автоматизации ключевых бизнес-процессов. Система решает задачи обработки заявок на ремонт, управления данными о сотрудниках и учёта запасных частей

и принадлежностей. В исследовании применяются методологии структурного анализа, включая функциональное моделирование IDEF0, описание процессов IDEF3 и диаграммы потоков данных для представления архитектуры системы. Разработана реляционная база данных с использованием подхода «сущность-связь», включающая 19 взаимосвязанных сущностей с определёнными атрибутами и функциональными зависимостями. Сформулированы математические модели для трёх основных задач: определения приоритета заявок на основе категории клиента и срочности выполнения, расчёта необходимого количества запасных частей на основе нормативов работ и управления загрузкой сотрудников. Предложенная система обеспечивает подачу заявок в онлайн-режиме, автоматизированную обработку заявок диспетчерами и комплексное ведение баз данных по клиентам, сотрудникам и запасным частям. Результаты внедрения демонстрируют повышение скорости обработки заявок, улучшение возможностей отслеживания запасов и сокращение объёма ручной документационной работы. Архитектура системы поддерживает разграничение доступа для диспетчеров, сервисных инженеров и отдела материально-технического снабжения.

Ключевые слова: информационная система, ремонтная мастерская, средства вычислительной техники, проектирование баз данных, автоматизация процессов, IDEF0-моделирование, управление запасами

Abstract

The article presents the development of an information system for a computer hardware repair shop aimed at improving the efficiency of an enterprise by automating key business processes. The system solves the tasks of processing repair requests, managing employee data, and accounting for spare parts and accessories. The research uses structural analysis methodologies, including IDEF0 functional modeling, IDEF3 process descriptions, and data flow diagrams to represent the system architecture. A relational database has been developed using the "entity-relationship" approach, which includes 19 interconnected entities with certain attributes and functional dependencies. Mathematical models are formulated for three main tasks: determining the priority of applications based on the category of the client and the urgency of execution, calculating the required number of spare parts based on work standards and managing the workload of employees. The proposed system provides online application submission, automated application processing by dispatchers, and comprehensive database management for customers, employees, and spare parts. The results of the implementation demonstrate an increase in the processing speed of applications, improved inventory tracking capabilities, and a reduction in manual documentation work. The system architecture supports access control for dispatchers, service engineers, and the logistics department.

Keywords: information system, repair shop, computer hardware, database design, process automation, IDEF0 modeling, inventory management

Введение

Разработка информационных систем для предприятий сферы услуг приобретает всё большее значение в условиях цифровой трансформации экономики. Ремонтные мастерские, специализирующиеся на обслуживании средств вычислительной техники (далее – СВТ), сталкиваются с существенными проблемами, связанными с управлением заявками, распределением ресурсов и контролем складских запасов. Сложность современной вычислительной техники требует системного подхода к управлению всем жизненным циклом обслуживания – от поступления заявки от клиента до выдачи гарантийного талона.

Настоящее исследование посвящено проектированию информационной системы для мастерской по ремонту СВТ. Основной целью разработки является повышение эффективности работы мастерской за счёт автоматизации процессов выполнения работ сотрудниками, что способствует улучшению качества предоставляемых услуг и сокращению времени выполнения заказов. Разрабатываемая информационная система представляет собой интегриро-

ванный набор организационно-технологических, методических, технических и программных решений, обеспечивающих оптимизацию процессов управления ремонтом и обслуживанием оборудования.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью устранения проблем взаимодействия между диспетчерами, сервисными инженерами и отделом материально-технического снабжения (далее – ОМТС), характерных для традиционной организации работы ремонтных мастерских. Ручные процессы приводят к задержкам, ошибкам в коммуникации и неэффективному использованию ресурсов. Предлагаемая информационная система автоматизирует ключевые функции, включая подачу заявок клиентами в онлайн-режиме, приём и обработку заявок диспетчерами, назначение сервисных инженеров с учётом их специализации и текущей загрузки, а также ведение баз данных по учёту запасных частей, клиентам и сотрудникам.

В работе применяются современные методологии системного анализа и проектирования информационных систем, включая функциональное моделирование, построение диаграмм потоков данных и реляционное проектирование баз данных. Практическая значимость исследования заключается в создании комплекса организационных, информационных и математических решений, применимых для автоматизации деятельности ремонтных мастерских различного профиля.

Методика исследования

В основу исследования положены методологии структурного анализа и проектирования информационных систем. Функциональное моделирование с использованием методологии IDEF0 позволяет представить бизнес-процессы мастерской в иерархической структуре, отражающей последовательность выполнения операций, входные и выходные информационные потоки, а также управляющие воздействия. Данный подход обеспечивает наглядное описание системы на различных уровнях декомпозиции и выявление информационных связей между участниками процесса.

Для моделирования информационных технологий и сценариев обработки данных применена методология IDEF3, позволяющая описать логическую последовательность выполнения действий (работ) и событий с использованием категорий действий, соединений и перекрёстков. Это даёт возможность представить возможные ветвления и альтернативные пути выполнения технологического процесса, что особенно важно для учёта различных ситуаций, возникающих при ремонте оборудования.

Моделирование информационных потоков выполнено с использованием диаграмм потоков данных (Data Flow Diagrams, DFD), которые отражают информационный обмен между системой и внешним миром, а также между функциональными блоками внутри системы. В работе построены три типа моделей DFD: модель окружения, описывающая систему как объект, реагирующий на события, порождаемые внешними сущностями; логическая модель, отображающая систему как набор действий; модель поведения, показывающая обработку конкретных событий.

Проектирование базы данных выполнено на основе подхода «сущность-связь» с последующим преобразованием в реляционную модель. Концептуальное проектирование включает идентификацию сущностей предметной области, определение их атрибутов и установление связей между сущностями. Логическое проектирование предполагает построение системы полных функциональных зависимостей, нормализацию отношений до третьей нормальной формы и формирование логической модели базы данных.

Результаты функционального моделирования

На основе анализа предметной области разработана иерархия функциональных моделей, описывающих деятельность мастерской по ремонту СВТ. Контекстная диаграмма А-0 представляет систему как единое целое, определяя границы моделирования, входные и выходные информационные потоки, а также управляющие воздействия. Входной информацией являются сведения о сервисных инженерах, заявки от клиентов, приходные наряды на запасные части, запасные части на ремонт, СВТ на техническое обслуживание и согласованные договоры.

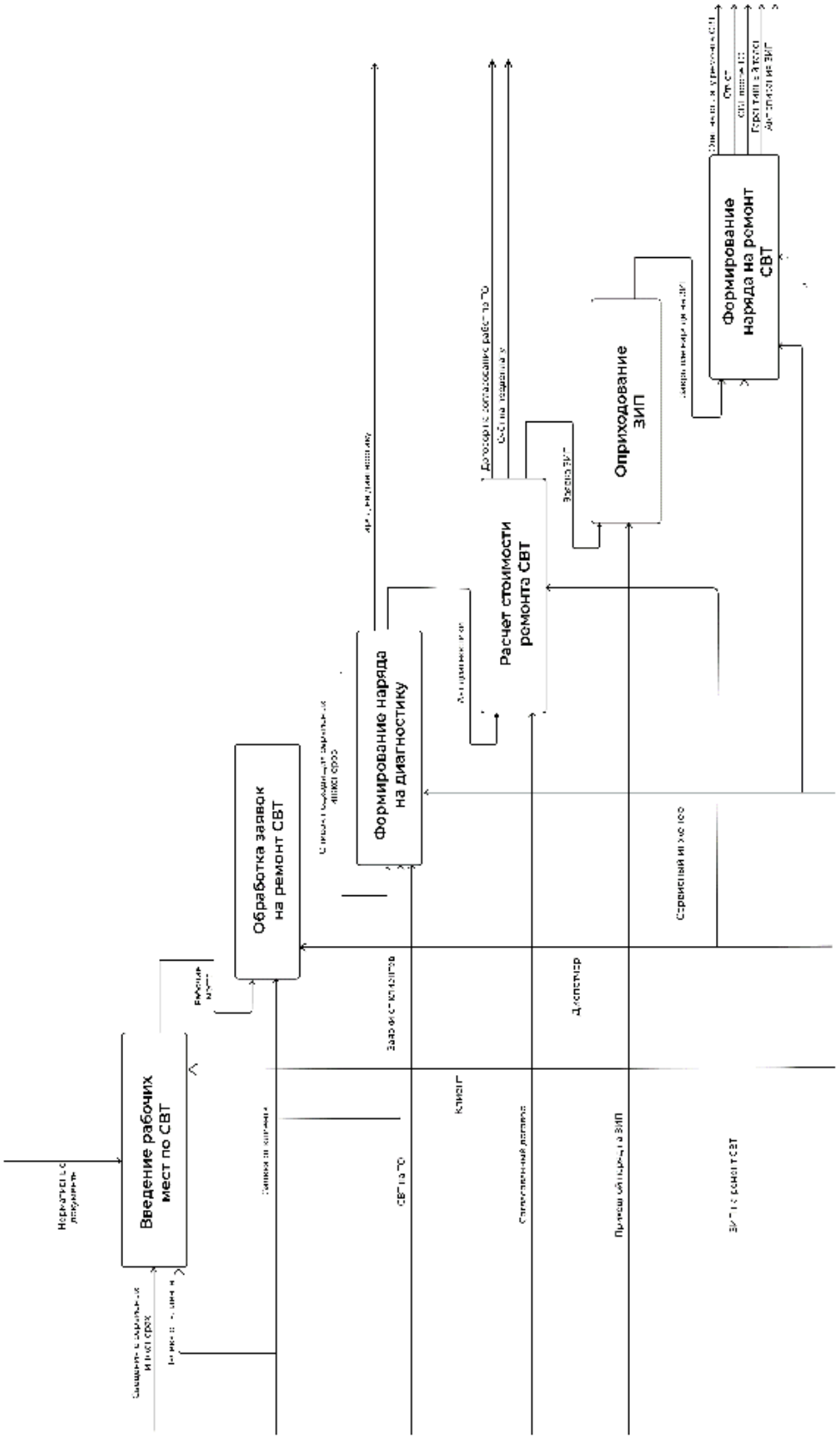


Рис. 1. Диаграмма IDEF0 A1

Результатом декомпозиции контекстной диаграммы является диаграмма A0, содержащая пять основных функциональных блоков: «Ведение рабочих мест по СВТ», «Обработка заявок на ремонт СВТ», «Формирование наряда на диагностику», «Расчёт стоимости ремонта СВТ», «Оприходование ЗИП» и «Формирование наряда на ремонт СВТ». Декомпозиция блока «Обработка заявок на ремонт» показана на диаграмме A1 (рис. 1), которая детализирует процессы обработки поступивших заявок и распределения их между сервисными инженерами.

Функциональный блок «Ведение рабочих мест по СВТ» обеспечивает формирование списков сервисных инженеров по классификациям ремонта на основе поступающих сведений о сотрудниках и их квалификации. Блок «Обработка заявок на ремонт СВТ» выполняет приём и регистрацию заявок от клиентов, а также распределение заявок между сервисными инженерами с учётом их специализации по типам и моделям СВТ и уровня текущей загрузки. Блок «Формирование наряда на диагностику» описывает процесс проведения диагностики оборудования назначенным специалистом с последующим оформлением наряда на диагностику и акта диагностики.

Блок «Расчёт стоимости ремонта СВТ» обеспечивает согласование договора с клиентом, выставление счёта на предоплату и формирование заявки на запасные части, направляемой в ОМТС. Блок «Оприходование ЗИП» описывает процесс обработки поступивших заявок на запасные части, формирование приходных нарядов и закрытие нарядов после поступления материалов. Блок «Формирование наряда на ремонт СВТ» является заключительным этапом, включающим формирование отчёта о выполненных работах, акта списания ЗИП, счёта на оплату и гарантийного талона.

Сценарий информационного процесса, представленный в виде диаграммы IDEF3 (рис. 2), описывает возможный порядок выполнения действий в системе и отражает логические ветвления процесса. Процесс начинается с этапа «Ведение рабочих мест по СВТ», затем последовательно выполняются этапы обработки заявок, формирования наряда на диагностику, расчёта стоимости, оприходования ЗИП и формирования наряда на ремонт. Диаграмма включает перекрёстки, отражающие возможные альтернативные пути, например, необходимость закупки дополнительных ЗИП или направление отчёта диспетчеру для выставления счёта.

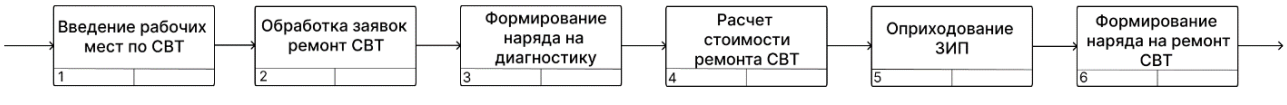


Рис. 2. Диаграмма IDEF3

Модель окружения DFD (рис. 3) определяет внешние сущности, взаимодействующие с системой: клиент, диспетчер, сервисный инженер и ОМТС. Клиент подаёт заявку на ремонт СВТ; диспетчер обрабатывает заявку, формирует счета, заявки на ЗИП и согласовывает договоры; сервисный инженер формирует наряды, акты и отчёты; ОМТС осуществляет работу с запасными частями. Логическая модель DFD содержит шесть функциональных блоков, соответствующих выделенным этапам процесса, и хранилища данных, отражающие информационную базу системы.



Рис. 3. Модель окружения DFD

Математическое обеспечение

В разрабатываемой информационной системе решаются три основные задачи, для которых сформулированы математические модели.

Задача 1: Обработка заявок на ремонт. При поступлении заявки автоматически определяется её приоритет на основе категории клиента и срочности выполнения. Для каждой заявки с номером i вводится бинарная переменная x_ij, указывающая, выполняет ли j-й сотрудник i-ю заявку. Приоритет заявки Q_i принимает значение 1 для физических лиц (низкий приоритет) и 2 для юридических лиц (высокий приоритет). Срочность выполнения V_i принимает значение 1 при низкой срочности и 2 при высокой (в случае готовности клиента оплатить 25% от стоимости заявки за срочность). Общий приоритет заявки P_i рассчитывается по формуле (1):

$$\lambda_i = (Q_i * V_i)/\Sigma(\mathrm{Q_i} \times \mathrm{V_i}), \quad (1)$$

где суммирование выполняется по всем поступившим заявкам.

Данный подход позволяет объективно ранжировать заявки и оптимально распределять их между сотрудниками с учётом квалификации и загрузки.

В сервисном центре работают 7 специалистов, распределённых по типам устройств: 2 мастера занимаются ремонтом оргтехники, 2 мастера – аппаратной и программной частью компьютерной техники, 1 мастер – ремонтом телефонов и планшетов, 2 мастера – заправкой картриджей. Распределение заявок осуществляется автоматически на основе специализации сотрудников и их текущей загрузки, определяемой количеством активных нарядов и нормативным временем выполнения работ.

Задача 2: Расчёт запасных частей для выполнения работ. После проведения диагностики определяется перечень необходимых работ и требуемых запасных частей. Для каждой работы R и материала N задаётся норматив затрат B_NR, определяющий количество материала N, необходимое для выполнения работы R. Итоговое количество материалов B_i, необходимое для выполнения всех работ по заявке i, рассчитывается как (2):

$$\mathrm{B_i} = \Sigma_R\Sigma_N\ \mathrm{B_NR}, \quad (2)$$

где суммирование выполняется по всем работам R (от 1 до k) и всем видам материалов N (от 1 до f). Для каждой работы установлено нормативное время выполнения t_iR, на основе которого рассчитывается общее нормативное время на ремонт конкретной техники T_i.

Задача 3: Управление загрузкой сотрудников. Ведение базы данных по сотрудникам включает оценку наличного персонала по качественным и количественным характеристикам, расчёт текущей и перспективной потребности в персонале, разработку программы мероприятий по покрытию потребности в кадрах. Для каждого сотрудника определяется статус загруженности (свободен, средняя занятость, перегружен) на основе количества активных нарядов и оставшегося нормативного времени их выполнения.

Проектирование информационного обеспечения

На этапе концептуального проектирования идентифицированы 19 сущностей предметной области, для каждой из которых определены атрибуты и установлены связи. Основными сущностями являются: «Клиенты» (S3), «Заявки на ремонт» (S2), «Сотрудники» (S11), «Учёт ЗИП» (S17), «Классификатор ЗИП» (S5), «Наряд на ремонт» (S7), «Акт диагностики» (S16), «Акт списания ЗИП» (S18), «Акт выполненных работ» (S19) и другие.

Сущность «Клиенты» содержит атрибуты: код клиента (первичный ключ), ФИО клиента, контактный телефон, адрес, e-mail. Сущность «Заявки на ремонт» включает код заявки (первичный ключ), код клиента (внешний ключ), ФИО заказчика, контактный телефон, адрес,

дату и время поступления заявки, e-mail, модель устройства, серийный номер, описание неисправности. Сущность «Сотрудники» содержит табельный номер (первичный ключ), ФИО сотрудника, адрес, телефон, должность, статус загруженности.

Для каждого атрибута определён домен – тип данных и допустимый диапазон значений. Например, домен «Код заявки» представляет собой цифровой код длиной до 7 символов, домен «Описание неисправности» – текстовое поле до 1000 символов, домен «Статус загруженности» принимает значения «Свободен», «Средняя занятость» или «Перегружен».

Логическое проектирование базы данных выполнено с построением системы полных функциональных зависимостей и нормализацией отношений до третьей нормальной формы. В результате установлены следующие связи между сущностями: отношение «Клиенты» (R8) связано с «Заявками на ремонт» (R14) по атрибуту «Код клиента»; отношение «Сотрудники» (R1) связано с «Нарядом на ремонт» (R4) по атрибуту «Табельный номер»; отношение «Заявка ЗИП» (R5) связывает «Заявки на ремонт» и «Классификатор ЗИП»; отношение «Акт выполненных работ» (R19) объединяет информацию о заявках, сотрудниках и использованных ЗИП.

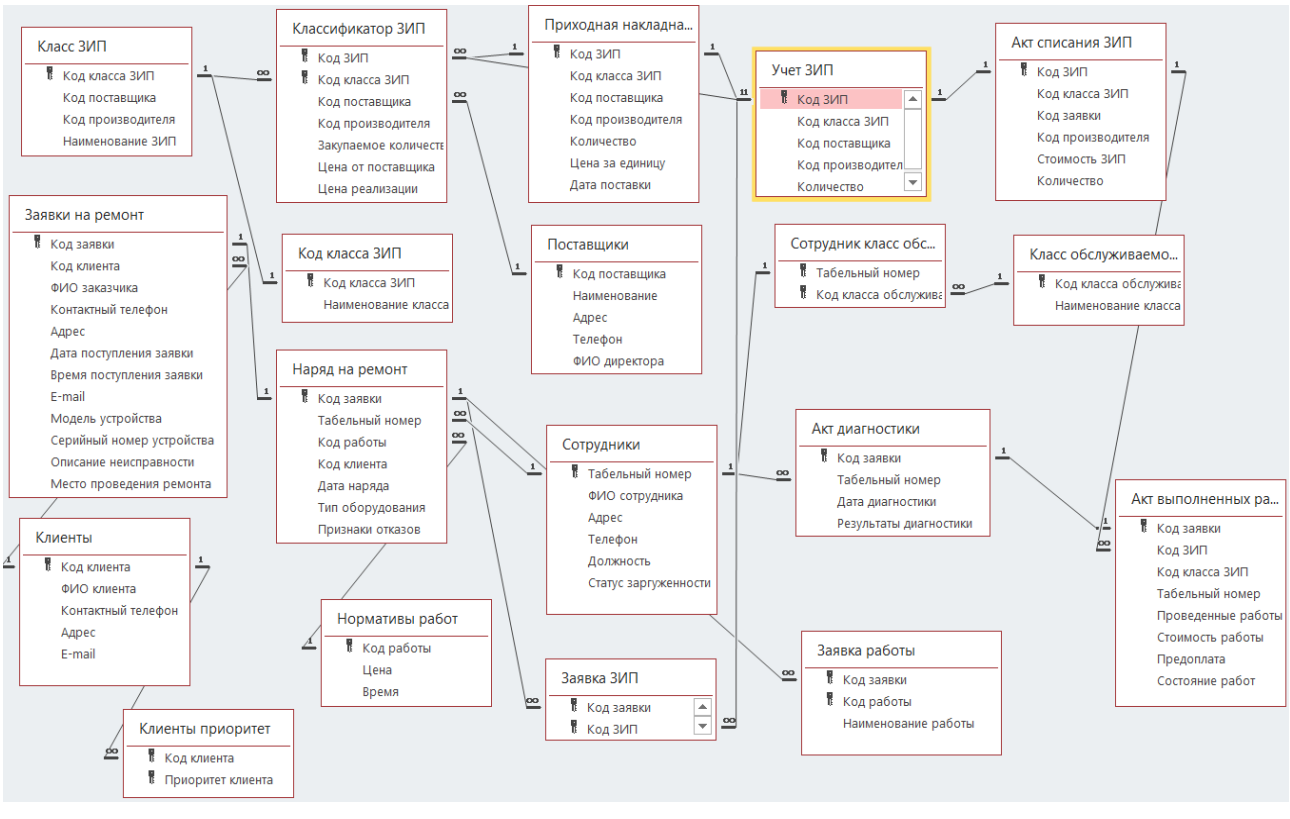


Рис. 4. Логическая модель базы данных

Логическая модель базы данных (рис. 4) включает 19 отношений, каждое из которых находится в третьей нормальной форме. Для поддержки базы данных в актуальном состоянии определены четыре класса задач ведения БД: ведение учёта данных о клиентах (К1), ведение учёта данных о сотрудниках (К2), ведение учёта данных о ЗИП (К3), ведение учёта данных о выполнении работ по ремонту (К4). Для каждого класса задач определены события добавления, изменения и удаления записей в соответствующих отношениях.

Технологический процесс обработки данных

Разработан технологический процесс обработки данных, представленный множеством схем, каждая из которых содержит процедуры автоматической, автоматизированной и ручной обработки данных. На каждой схеме отражаются входная, промежуточная и выходная

информация с указанием типа носителя. Технологический процесс включает процедуры, отражающие выполнение функциональных задач, задач по ведению базы данных и обеспечению достоверности и безопасности данных.

Технологический процесс решения задачи «Обработка заявок на ремонт» включает последовательность операций: приём и регистрацию заявки, проверку наличия свободных сервисных инженеров, назначение исполнителя, формирование наряда на диагностику, проведение диагностики, формирование акта диагностики, расчёт стоимости ремонта и формирование счёта. Для задачи «Ведение базы данных по сотрудникам» технологический процесс включает операции по добавлению, изменению и удалению записей о сотрудниках с учётом их квалификации и загрузки. Технологический процесс ведения учёта ЗИП включает операции по учёту поступления, хранения и списания запасных частей.

Для каждой задачи разработаны схемы алгоритмов решения прикладных задач. Схема алгоритма для задачи «Обработка заявок на ремонт» при последовательности доступа к отношениям R8 («Клиенты») и R14 («Заявки на ремонт») включает поиск клиента по первичному ключу, затем поиск заявок по вторичному ключу «Код клиента». Алгоритм реализует расчёт приоритета заявки и определение подходящего исполнителя на основе его специализации и загрузки.

Схема алгоритма для задачи «Ведение БД по сотрудникам» при последовательности доступа R1 («Сотрудники»), R2 («Сотрудники класс обслуживаемого оборудования»), R3 («Класс обслуживаемого оборудования») включает поиск сотрудника по табельному номеру, затем поиск классов обслуживаемого оборудования, которые может обслуживать данный сотрудник. Алгоритм позволяет формировать полную информацию о квалификации сотрудника и его загрузке.

Схема алгоритма для задачи «Ведение учёта ЗИП» при последовательности доступа R5 («Заявка ЗИП»), R13 («Учёт ЗИП»), R15 («Классификатор ЗИП») включает последовательный просмотр заявок на ЗИП, затем поиск соответствующих записей в учёте ЗИП и классификаторе для получения полной информации о наличии и стоимости запасных частей.

Заключение

В ходе исследования разработана информационная система для мастерской по ремонту средств вычислительной техники, позволяющая автоматизировать основные бизнес-процессы предприятия. Применение методологий структурного анализа (IDEF0, IDEF3, DFD) позволило построить полную функциональную модель системы, отражающую все этапы обработки заявок – от поступления до выдачи отремонтированного оборудования клиенту.

Разработана реляционная база данных, содержащая 19 взаимосвязанных сущностей, находящихся в третьей нормальной форме. Определены математические модели для трёх ключевых задач: определения приоритета заявок на основе категории клиента и срочности; расчёта необходимого количества запасных частей на основе нормативов работ; управления загрузкой сотрудников с учётом их квалификации и текущей занятости.

Практическая значимость разработанной информационной системы заключается в сокращении времени обработки заявок за счёт автоматизации распределения заказов между сервисными инженерами, уменьшении рутинной бумажной работы для сотрудников и клиентов, упрощении отслеживания наличия запасных частей на складе, улучшении качества обслуживания клиентов за счёт оперативного информирования о сроках и стоимости ремонта.

Разработанные решения могут быть адаптированы для автоматизации деятельности ремонтных мастерских различного профиля, включая обслуживание бытовой техники, электроники и промышленного оборудования. Дальнейшие направления исследований включают разработку мобильного приложения для клиентов, интеграцию с системами электронного документооборота и внедрение элементов искусственного интеллекта для прогнозирования потребности в запасных частях и оптимизации загрузки сотрудников.

Список литературы

1. Зарайский, С. А. Основы проектирования автоматизированных систем: учебное пособие по курсовому проектированию / С. А. Зарайский, А. Л. Осипова, В. А. Суздальцев. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – 103 с.

2. Ризаев, И. С. Базы данных: учебное пособие / И. С. Ризаев, З.Т. Яхина. – Казань : КГТУ, 2002. – 120 с.

3. Эминов, Ф. И. Проектирование корпоративных информационных сетей: методическое руководство / Ф. И. Эминов. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2006. – 24 с.

4. Date C.J. An Introduction to Database Systems. – 8th ed. – Boston: Addison-Wesley, 2004. – 1032 p.

5. Connolly T., Begg C. Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. – 6th ed. – Boston: Pearson, 2015. – 1440 p.

УДК 004.052.42

МЕТОД ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРВОПРИЧИН БЛОКИРОВКИ ПРОВИЗИОНИРОВАНИЯ ПОДОВ В KUBERNETES НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ EFSM

Китаев М.А., студент;
ORCID: 0009-0009-6989-7542;
E-mail: re.kitaev@gmail.com;
Прокопьев Н.А., доцент Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

METHOD OF DETERMINISTIC IDENTIFICATION OF ROOT CAUSES FOR BLOCKING PLANNING WEEKS IN KUBERNETES BASED ON THE EFSM MODEL

Kitaev M.A., student;
ORCID: 0009-0009-6989-7542;
E-mail: re.kitaev@gmail.com;
Prokopyev N.A., Associate Professor, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

Аннотация

Предложен детерминированный алгоритм диагностики блокировок провизионирования подов в Kubernetes, устраняющий недостатки ручного анализа и вероятностных ML-моделей. В основе метода лежит формализация процесса провизионирования средствами расширенного конечного автомата (Extended Finite State Machine, EFSM), обеспечивающего детерминированность переходов на уровне самой модели. Алгоритм последовательно проверяет семь guard-параметров из объектов Kubernetes API в порядке хронологии планирования, локализуя первопричину даже при каскадных сбоях. Модель охватывает четыре класса неисправностей: нехватку ресурсов, недоступность образа, отказы хранилища и нарушения безопасности/конфигурации. Метод показывает микросекундное быстродействие и 100% точность на синтетических сценариях при снижении числа API-запросов (Application Programming Interface) по сравнению с ручной диагностикой. Апробация на реальном инци-

денте подтвердила корректность модели и определила границы применимости: алгоритм локализует непосредственную, а не глубинную причину сбоя.

Ключевые слова: Kubernetes, расширенный конечный автомат, EFSM, диагностика первопричин, провизионирование подов, детерминированный алгоритм

Abstract

A deterministic algorithm is proposed for diagnosing pod provisioning blockages in Kubernetes, addressing the shortcomings of manual analysis and probabilistic ML models. The method is based on formalizing the provisioning process by means of an Extended Finite State Machine (EFSM), which ensures deterministic transitions at the level of the model itself. The algorithm sequentially checks seven guard parameters from Kubernetes API objects in the chronological order of scheduling, localizing the root cause even in the presence of cascading failures. The model covers four classes of faults: resource starvation, image unavailability, storage failures, and security/configuration violations. The method demonstrates microsecond-level performance and 100% accuracy on synthetic scenarios, while reducing the number of API (Application Programming Interface) requests compared to manual diagnosis. Validation on a real-world incident confirmed the correctness of the model and established the boundaries of its applicability: the algorithm localizes the immediate rather than the underlying cause of a failure.

Keywords: Kubernetes, extended finite state machine, EFSM, root cause diagnosis, pod provisioning, deterministic algorithm

1. Введение

Повсеместное промышленное внедрение и успешный опыт развертывания критически важных нагрузок сделали Kubernetes де-факто стандартом оркестрации контейнеризированных приложений [1, 2]. Вместе с тем с расширением масштабов его применения увеличивается и количество документированных инцидентов, причем значительная доля проблем возникает на этапе провизионирования, когда поды продолжительное время остаются в статусе Pending [3]. Причины таких блокировок многообразны: от дефицита вычислительных ресурсов и недоступности образов до отказов хранилищ и нарушения политик безопасности [4, 5].

На практике первичный поиск неисправностей чаще всего сводится к вызову утилит kubectl describe и kubectl get events. Их вывод представляет собой массив разрозненных событий без разделения на первопричину и следствия. Поэтому инженеру необходимо самостоятельно восстановить причинно-следственную последовательность, определить наиболее вероятную гипотезу и выбрать порядок дальнейших проверок. Такой процесс зависит от опыта инженера и может приводить к различающимся результатам диагностики при одинаковом исходном состоянии кластера.

По мере усложнения архитектуры кластеров стандартных средств Kubernetes становится недостаточно для полноценной автоматизации анализа отказов. Поэтому современные решения для анализа первопричин (Root Cause Analysis, RCA) в облачных средах преимущественно опираются на статистическую обработку метрик, логов и трассировок, а также на алгоритмы машинного обучения [6, 7].

При этом для значительной части подобных подходов диагностические выводы имеют вероятностный характер. Они формируются на основе статистических закономерностей, обученных моделей или эвристик, а не только формально заданных правил функционирования системы. В промышленной эксплуатации, где критически важна однозначность, это может ограничивать воспроизводимость результатов, поскольку итог зависит от используемой модели, эвристик и параметров анализа.

Одним из возможных способов обеспечить воспроизводимость диагностики являются формальные методы, ранее применявшиеся для верификации телекоммуникационных протоколов [8]. В работе представлен подход к формализации процесса провизионирования пода в виде EFSM-модели и разработке на ее основе диагностического алгоритма с детерминиро-

ванным выводом. Выделение первопричины при каскадном отказе достигается за счет приоритизации дефектов в соответствии с хронологией инициализации компонентов пода. Валидация проведена на наборе синтетических тест-кейсов и материале задокументированного инцидента; полученные данные сопоставлены с результатами традиционного ручного поиска неисправностей. Сетевые аномалии и тонкие механизмы планирования (параметры tolerations, affinity и контекст ResourceQuota) сознательно вынесены за рамки статьи и рассматриваются как ограничения текущей модели и вынесены в раздел «Заключение».

2. Анализ существующих решений

Задача детерминированной диагностики блокировок провизионирования подов пока не имеет прямого решения, но к ней близки несколько групп подходов RCA в облачных и микросервисных системах: от универсальных ML-инструментов до специализированных решений для Kubernetes.

Общий обзор таких методов представлен в работах [6, 7]. Подавляющее большинство из них опирается на данные наблюдаемости в виде трассировок, метрик и логов, формируя результаты диагностики статистически: через поиск корреляций, причинно-следственные графы или обученные модели. Такой подход не использует формальные правила поведения самой системы, из-за чего детерминированность теряется: два запуска на одних и тех же входных данных могут дать разный результат из-за стохастических компонентов – сэмплирования логов, эвристического поиска по графу или генерации текста языковой моделью.

Из существующих решений наиболее близки к рассматриваемой задаче два инструмента. HolisticRCA [9] переводит трассировки, метрики и логи в единое векторное пространство и ищет первопричину сбоя уже внутри этого представления. Это универсальный подход для облачных систем, не учитывающий специфику Kubernetes и, в частности, процесс провизионирования подов.

Таблица 1

Сопоставление подходов к диагностике

Подход	Тип метода	Детерминированность	Работа с каскадными ошибками
kubectl (вручную)	Эвристика оператора	Нет	Не разделяет коренную и сопутствующие причины
HolisticRCA	ML, векторы Observability	Нет	Нет узкой специализации
SynergyRCA	Граф состояний + LLM (RAG)	Нет (~90%)	Не заявлено
Предлагаемый метод	EFSM, guard-функции	Да (для входа *P*)	Явная приоритизация по цепочке жизненного цикла

SynergyRCA [10], в отличие от него, разработан именно под Kubernetes: граф состояний кластера (StateGraph) в нём комбинируется с LLM через RAG-архитектуру. При тестировании на данных двух промышленных кластеров инструмент показал точность около 90% при среднем времени анализа порядка двух минут.

Двухминутная задержка и десятипроцентная погрешность создают значительные ограничения для задач автоматического устранения инцидентов, где важны исключительная скорость и непреложная детерминированность результатов. Использование аппарата EFSM [8] даёт такую гарантию на уровне самой модели. Предложенное решение адаптирует метод под объекты Kubernetes API [1, 3]; его сравнение со стандартным ручным анализом через kubectl приведено в таблице 1.

В отличие от инструментов HolisticRCA и SynergyRCA, предлагаемый метод сфокусирован на узкоспециализированной задаче и основывается исключительно на анализе API-объ-

ектов пода (см. раздел «Методология»). При этом он формирует точное заключение за один вызов, избавляя от рутинных операций и задержек, свойственных статистическим моделям.

3. Методология

3.1 Формальная модель

Процесс провизионирования пода представлен в модели расширенным конечным автоматом (Extended Finite State Machine, EFSM). Выбор данного аппарата обусловлен тем, что при фиксированном наборе параметров детерминированность переходов между состояниями обеспечена строго по построению, а не является эмпирическим свойством конкретной реализации [8].

Формально автомат задаётся кортежем $EFSM = (S, S_0, S_F, P, T)$, где:

S – множество состояний пода, включающее стандартные этапы жизненного цикла [3]:

1) Pending,
2) Scheduled,
3) ImagePulling,
4) ContainerCreating,
5) Running;

и четыре целевых состояния блокировки:

1) Blocked_ResourceStarvation,
2) Blocked_ImageUnavailability,
3) Blocked_StorageFailure,
4) Blocked_SecurityConfigViolation.

S_0 – начальное состояние (Pending), когда под уже создан в API, но еще не запланирован на конкретную ноду.

$S_F \subset S$ – терминальные состояния: успешный запуск (Running) и все варианты блокировок (Blocked_*), формирующие итоговый диагноз.

P – семь guard-параметров, извлекаемых из объектов Kubernetes API (соответствие приведено в табл. 2).

T – переходы вида $(s, guard(P) \rightarrow s')$, где *guard* является булевой функцией от параметров P.

Таблица 2

Guard-параметры и их источники

Параметр	Источник данных (Kubernetes API)	Диагностируемый класс
node_available	Node: allocatable, taints, conditions	Resource Starvation
resourcequota_available	ResourceQuota.status	Resource Starvation
image_pullable	События ErrImagePull / ImagePullBackOff	Image Unavailability
pv_bound	PVC/PV.status.phase	Storage Failure
csi_healthy	События FailedMount, статус CSI-драйвера (Container Storage Interface, CSI)	Storage Failure
serviceaccount_valid	Наличие ServiceAccount, правила RBAC (Role-Based Access Control, RBAC)	Security/Config
secret_mountable	Наличие Secret / ConfigMap в namespace	Security/Config

3.2 Алгоритм диагностики

Guard-функции проверяются в порядке, строго повторяющем хронологию запуска пода платформой (kube-scheduler → kubelet):

Node → Image → Storage → Security

Это исключает ложные выводы, поскольку под не может начать скачивание образа до планирования на ноду и не перейдет к проверке конфигурации безопасности без примонтированного тома.

Алгоритм DiagnoseBlockage последовательно проверяет guard-функции для четырёх классов неисправностей в порядке обхода. Если проверка внутри класса выявляет сбой, анализ оставшихся параметров этого класса прерывается. При этом опрос остальных подсистем продолжается – это необходимо для дифференциальной диагностики каскадных сбоев, когда параллельно отказывают несколько независимых компонентов:

```
for (class, params) in [Resource, Image, Storage, Security]:
  for p in params:
    ok, reason := Evaluate(p, P)
    if not ok:
      causes.append((class, p, reason))
      break
if causes = 0: return NoBlockage
if |causes| = 1: return SingleCause(causes[0])
return MultipleCauses(RootCause=causes[0], Correlated=causes[1:])
```

В основу алгоритма положен принцип: если сбоев несколько, первопричиной объявляется дефект, стоящий первым в хронологической цепочке инициализации пода, а остальные считаются сопутствующими. Такой подход обусловлен строгой последовательностью стадий жизненного цикла пода в Kubernetes: устранение раннего отказа автоматически нивелирует ошибки последующих шагов.

3.3 Обоснование корректности

Детерминированность алгоритма обеспечивается использованием чистых guard-функций и фиксированным порядком проверок, что полностью исключает вариативность вывода на идентичных наборах данных. Полнота метода ограничена вектором P: метод идентифицирует исключительно те классы ошибок, которые покрываются данным вектором. В случаях, когда инцидент проявляется на уровне системных контроллеров или относится к подсистеме, выходящей за рамки текущей модели, алгоритм корректно возвращает значение NoBlockage.

Асимптотическая сложность вычисления guard-функций оценивается как $O(N + E + Q + V + S)$, где параметры соответствуют числу анализируемых узлов, событий, квот, томов и секретов соответственно.

4. Результаты

4.1 Тестирование на синтетическом датасете

Валидация алгоритма проводилась на датасете из 24 сценариев, сгенерированных утилитой rcaeval. Выборка включает инциденты для каждого из четырех классов неисправностей, примеры успешного запуска без блокировок и сложные случаи одновременного каскадного сбоя нескольких подсистем. Результаты по классам приведены в табл. 3.

Таблица 3

Точность диагностики по классам

Класс ошибки	Кол-во кейсов	Успешно распознано	Точность
ResourceStarvation	6	6	100,0%
ImageUnavailability	4	4	100,0%
StorageFailure	4	4	100,0%
SecurityConfigViolation	4	4	100,0%
NoBlockage	6	6	100,0%
Итого	**24**	**24**	**100,0%**

Успешная классификация всех сценариев на синтетической выборке демонстрирует корректность алгоритмической реализации; при этом для оценки эффективности в произвольных промышленных средах требуются дальнейшие исследования.

4.2 Сравнение с ручной диагностикой

Для сбора того же объёма данных инженеру в среднем требуется выполнить 2,7 команды kubectl; в сложных случаях их число доходит до четырёх. Предлагаемый алгоритм решает эту задачу за один вызов API. При этом kubectl describe при каскадных сбоях выводит события без приоритизации, оставляя разбор оператору, тогда как алгоритм сразу указывает на первопричину.

4.3 Быстродействие

Бенчмарки подтвердили линейную зависимость времени выполнения от размера кластера: функция CheckNodeAvailable выполняется за 565 нс на 10 нодах и за 90 584 нс на 10 000 нод. Полный цикл DiagnoseBlockage на типичных объёмах данных занимает от 219 до 1370 нс, что по быстродействию на несколько порядков превосходит любой сетевой запрос к API кластера.

4.4 Апробация на реальном инциденте

В открытом доступе дампы API для реальных сбоев провизионирования практически отсутствуют, поэтому модель была проверена на описании задокументированного инцидента с исчерпанием IP-адресов в GKE (Google Kubernetes Engine) из базы kubernetes-failure-stories [4]. Ошибка планировщика (FailedScheduling: Insufficient memory, Insufficient cpu) была корректно обработана guard-функцией node_available. На примере этого сценария хорошо прослеживаются ограничения модели: алгоритм корректно диагностировал нехватку ресурсов на узлах, однако сбой Cluster Autoscaler, вызванный исчерпанием подсети, остался нераспознанным, поскольку соответствующая метрика не входит в вектор P.

5. Заключение

В работе предложен детерминированный метод диагностики сбоев провизионирования подов Kubernetes, построенный на базе EFSM-модели. Алгоритм охватывает четыре основных класса неисправностей: дефицит ресурсов, недоступность образа, отказ хранилища и нарушение политик безопасности. Благодаря строгой очередности вычисления guard-функций он автоматически разграничивает первичные и сопутствующие проблемы. Результаты апробации показали микросекундную скорость диагностики, строгую детерминированность вывода и высокое практическое удобство на фоне стандартного использования kubectl.

Текущая реализация ограничена анализом API-объектов и покрывает лишь часть возможных инфраструктурных проблем. Дальнейшее развитие подхода предполагает:

– масштабирование модели на все 9 выявленных классов неисправностей;

– учет сетевых аномалий и сложных правил планирования (affinity, tolerations);

– верификацию логики приоритизации первопричин на репрезентативной выборке реальных промышленных инцидентов.

Список литературы

1. Burns B., Grant B., Oppenheimer D., Brewer E., Wilkes J. Borg, Omega, and Kubernetes: Lessons Learned from Three Container-Management Systems over a Decade // ACM Queue. – 2016. – Vol. 14, № 1. – P. 70–93. (Переиздание: Communications of the ACM. – 2016. – Vol. 59, № 5. – P. 50–57. – DOI: 10.1145/2890784.)

2. Крутяков Д.В. Роль контейнеризации и оркестрации (Docker и Kubernetes) в современной разработке программного обеспечения // Вестник науки. – 2026. – №2(95), т.1. – С. 724–729. – ISSN 2712-8849. – URL: https://vestnik-nauki.com/article/28731 (дата обращения: 10.08.2026).

3. Kubernetes Documentation: Pod Lifecycle [Электронный ресурс]. – The Kubernetes Authors. – URL: https://kubernetes.io/docs/concepts/workloads/pods/pod-lifecycle/ (дата обращения: 3.08.2026).

4. Jacobs H. et al. kubernetes-failure-stories: Compilation of Public Failure/Horror Stories Related to Kubernetes [Электронный ресурс]. – URL: https://k8s.af (дата обращения: 9.08.2026).

5. Barletta M., Cinque M., Di Martino C., Kalbarczyk Z.T., Iyer R.K. Mutiny! How Does Kubernetes Fail, and What Can We Do About It? // Proceedings of the 54th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2024), Brisbane, Australia. – 2024. – P. 1–14. – DOI: 10.1109/DSN58291.2024.00016.

6. Soldani J., Brogi A. Anomaly Detection and Failure Root Cause Analysis in (Micro)Service-Based Cloud Applications: A Survey [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:2105.12378. – 2021. – URL: https://arxiv.org/abs/2105.12378 (дата обращения: 14.08.2026).

7. Zhang S., Xia S., Fan W. [и др.] Failure Diagnosis in Microservice Systems: A Comprehensive Survey and Analysis [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:2407.01710. – 2024. – URL: https://arxiv.org/abs/2407.01710 (дата обращения: 17.08.2026).

8. El-Fakih K., Prokopenko S., Yevtushenko N., von Bochmann G. Fault Diagnosis in Extended Finite State Machines // Testing of Communicating Systems: TestCom 2003. Lecture Notes in Computer Science, vol. 2644. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2003. – P. 197–210. – DOI: 10.1007/3-540-44830-6_15.

9. Han Y., Du Q., Huang Y., Li P., Shi X., Wu J., Fang P., Tian F., He C. Holistic Root Cause Analysis for Failures in Cloud-Native Systems Through Observability Data // IEEE Transactions on Services Computing. – 2024. – Vol. 17, № 6. – P. 3789–3802. – URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/10713920 (дата обращения: 18.08.2026).

10. Xiang Y., Chen C.P., Zeng L., Yin W., Liu X., Li H., Xu W. Simplifying Root Cause Analysis in Kubernetes with StateGraph and LLM [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:2506.02490. – 2025. – URL: https://arxiv.org/abs/2506.02490 (дата обращения: 7.08.2026).

УДК 332.1

ENTERPRISE INTELLIGENCE CENTER: МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНО-УПРАВЛЕНЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Киямутдинов Д.Ф., аспирант Казанского кооперативного института (филиала Российского университета кооперации), г. Казань, Россия;
E-mail: ferro2018@yandex.ru;
Камалов Б.И., заместитель президента по экономике и финансам АО «УзеньПромГеоФизика», г. Жанаозен, Республика Казахстан;
E-mail: bulatkamalov689@gmail.com

ENTERPRISE INTELLIGENCE CENTER: A METHODOLOGICAL APPROACH TO THE INTELLIGENT AUTOMATION OF ADMINISTRATIVE AND MANAGEMENT BUSINESS PROCESSES

Kiyamutdinov D.F., Postgraduate Student, Kazan Cooperative Institute (Branch of the Russian University of Cooperation), Kazan, Russia;
E-mail: ferro2018@yandex.ru;
Kamalov B.I., Deputy President for Economics and Finance, JSC UzenPromGeoFizika, Zhanaozen, Republic of Kazakhstan;
E-mail: bulatkamalov689@gmail.com

Аннотация

В статье предложен методический подход к интеллектуальной автоматизации административно-управленческих бизнес-процессов предприятия на основе Enterprise Intelligence Center (EIC). EIC рассматривается не как автономный «ИИ-сотрудник», а как управляемый сервисный контур, объединяющий утвержденные корпоративные данные, формализованные правила, интеллектуального помощника и ответственного человека. Для апробации выбран процесс оформления отпуска: в нем сочетаются персональные данные, нормативные ограничения, расчетные операции, подготовка документов, маршрутизация и контроль полномочий. Методика проверена на обезличенном синтетическом массиве из 200 модельных заявок – по 100 для исходного процесса и сценария с EIC. Сопоставлялись длительность цикла, трудозатраты, возвраты, ошибки, число касаний документа и стоимость обработки заявки. В модельном сценарии средняя длительность цикла снизилась с 16,7 до 6,4 ч, трудозатраты – с 2,55 до 1,08 чел.-ч, доля возвратов – с 14 до 5%, доля ошибок – с 8 до 3%. Экономический эффект предложено оценивать совместно с рисками ошибочного решения, утечки данных и неконтролируемого изменения кадровой информации. Для организации риск-ориентированного контроля использована логика NIST AI RMF: Govern, Map, Measure и Manage. Показано, что EIC может выступать сервисным слоем между пользователем, корпоративными системами и регламентами, снижая операционные потери и повышая трассируемость решений при сохранении человеческого контроля над юридически и финансово значимыми действиями. Полученные значения имеют расчетный характер и иллюстрируют способ оценки; их подтверждение требует пилота на обезличенных фактических данных.

Ключевые слова: Enterprise Intelligence Center, Индустрия 4.0, интеллектуальная автоматизация, бизнес-процесс, экономическая безопасность, искусственный интеллект, кадровые процессы, NIST AI RMF, человеческий контроль, цифровая трансформация

Abstract

The paper proposes a methodological approach to intelligent automation of administrative and managerial business processes based on the Enterprise Intelligence Center (EIC). EIC is treated not as an autonomous “AI employee” but as a controlled service layer combining approved corporate data, formalized rules, an intelligent assistant, and an accountable human decision maker. The employee leave request process is used as a pilot because it combines personal data, rule-based constraints, calculations, document preparation, approval routing, and access control. The method is tested on a depersonalized synthetic dataset of 200 model applications, with 100 representing the baseline process and 100 the EIC scenario. The comparison covers cycle time, labor input, returns for correction, errors, document touches, and processing cost. In the model scenario, average cycle time decreases from 16.7 to 6.4 hours, labor input from 2.55 to 1.08 person-hours, the return rate from 14% to 5%, and the error rate from 8% to 3%. The economic effect is evaluated together with the risks of incorrect decisions, data leakage, and uncontrolled changes to personnel records. Risk-oriented control follows the NIST AI RMF functions Govern, Map, Measure, and Manage. The results show how EIC can operate as a service layer between users, corporate systems, and internal regulations while maintaining human oversight of legally and financially significant actions. The reported values are illustrative model estimates and require validation in a real pilot using depersonalized operational data.

Keywords: Enterprise Intelligence Center, Industry 4.0, intelligent automation, business process, economic security, artificial intelligence, HR processes, NIST AI RMF, human oversight, digital transformation

Введение

Индустрия 4.0 чаще всего описывается через роботизацию, промышленный интернет вещей и интеллектуальные производственные системы. Однако результативность цифрового производства зависит и от административного контура. Отпуск, командировка, платежная за-

явка или согласование договора проходят через несколько подразделений, поэтому задержка на ручной проверке, повторный ввод данных или ожидание согласования способны замедлять процессы, непосредственно обслуживающие производство. Исследования Индустрии 4.0 связывают ее развитие с интеграцией цифровых систем, передовыми производственными технологиями и более гибким управлением процессами [1, 5, 8]. Из этого следует, что цифровая трансформация предприятия не должна ограничиваться только производственным оборудованием.

В настоящей работе экономическая безопасность рассматривается на уровне предприятия как устойчивость его административных процедур к ошибкам, необоснованным действиям и нарушениям доступа. Российские исследования связывают цифровизацию с появлением новых организационных, кадровых и операционных рисков, а устойчивость хозяйственных систем – с задачами экономической безопасности [2, 3]. Для административного процесса такие риски имеют прикладное выражение: ошибочная выплата создает прямые затраты, потерянный документ увеличивает трудоемкость, нарушение маршрута согласования ослабляет контроль, а доступ к чужим данным формирует правовые и репутационные последствия. Для промышленного предприятия значимость этих рисков усиливается тем, что административный контур обслуживает персонал, закупки, расчеты и производственные подразделения.

Развитие автоматизации бизнес-процессов идет от программных роботов, выполняющих повторяющиеся операции, к сочетанию RPA, искусственного интеллекта и систем поддержки решений [6, 8, 9]. В этой логике Enterprise Intelligence Center (EIC) рассматривается как корпоративный сервис интеллектуального выполнения типовых операций, а не как замена должности целиком. Цель исследования состоит в разработке методического подхода к организации такого контура и в определении показателей, позволяющих одновременно оценивать его результативность и риски. Методический акцент сделан на разграничении автоматизированной подготовки решения и действий, которые должны оставаться за ответственным сотрудником либо детерминированной учетной системой.

Методика

Методический принцип EIC состоит в разделении функций между четырьмя компонентами: утвержденными корпоративными данными, формализованными правилами, интеллектуальным помощником и ответственным человеком. Интеллектуальный компонент используется там, где требуется распознать запрос, сопоставить его с нормой, подготовить форму, пояснить расчет, предложить маршрут или обнаружить противоречие. Действия, меняющие юридически или финансово значимое состояние процесса, выводятся за пределы автономного решения ИИ. К ним относятся подписание приказа, окончательное начисление выплаты, изменение кадровой записи и предоставление доступа к персональным данным без подтвержденных полномочий.

Для риск-ориентированного управления использована рамка NIST AI RMF 1.0 [10]. Ее ядро включает четыре функции: Govern, Map, Measure и Manage. В модели EIC этим функциям соответствуют закрепление полномочий и ответственности, описание контекста применения, измерение качества и риска, а также реагирование на выявленные отклонения. Принципиально важно, что такой контроль рассматривается как повторяемый процесс на протяжении жизненного цикла системы, а не как разовая техническая проверка. Риско-ориентированный подход к регулированию и стандартизации ИИ рассматривается также в современной зарубежной литературе [5].

Пилотным процессом выбрано оформление отпуска. Для методической апробации использован обезличенный синтетический массив из 200 модельных случаев: 100 заявок характеризуют исходный процесс и 100 – сценарий после внедрения EIC. Эти значения не относятся к конкретному предприятию и предназначены исключительно для проверки логики сравнения. Оценивались среднее время цикла, трудозатраты, доля возвратов, доля ошибок, среднее число касаний документа и стоимость обработки одной заявки. Для непрерывных показателей

сопоставлялись средние значения, для возвратов и ошибок – доли случаев. Относительное изменение рассчитывалось как (значение после EIC – значение до EIC) / значение до EIC × 100%.

Основная часть

Сценарий обработки заявки строится как последовательность контролируемых операций. После обращения EIC идентифицирует сотрудника по условному номеру, проверяет остаток дней и график, определяет согласующего и замещающего, выполняет предварительный расчет, проверяет право на выплату и формирует проекты заявления и приказа. Далее пакет направляется по утвержденному маршруту. Только после подписи данные передаются в кадровую и расчетную системы, а журнал фиксирует выполненные действия. Таким образом, интеллектуальный компонент подготавливает решение и сопроводительные данные, но не устраняет контрольную точку там, где результат имеет финансовые или правовые последствия.

Связь функций EIC с контрольными точками и рисками экономической безопасности представлена в табл. 1.

Таблица 1

Функции, контрольные точки и риски Enterprise Intelligence Center

Этап	Действие EIC	Роль ИИ	Контроль	Основной риск
Идентификация	Поиск корпоративной записи	Сопоставление запроса и записи	Проверка прав доступа	Несанкционированное раскрытие данных
Проверка отпуска	Проверка остатка и графика	Поиск и сопоставление правил	Учетная система	Ошибочное определение права на отпуск
Расчет	Предварительный расчет суммы	Расчет и пояснение	Валидация формул и исходных данных	Финансовая ошибка
Документы	Подготовка проектов заявления и приказа	Заполнение типовой формы	Проверка ответственным сотрудником	Ошибка в документе
Согласование	Определение маршрута	Предложение маршрута	Формализованные правила процесса	Обход полномочий
Регистрация	Передача данных после подписи	Подготовка данных к записи	Подпись и системная валидация	Неконтролируемое изменение записи
Журнал	Фиксация действий	Формирование объяснимой цепочки	Журнал аудита	Потеря трассируемости

Таблица 1 показывает, что значимым является не само количество автоматизированных операций, а расположение контрольных точек. Для задач Индустрии 4.0 административная автоматизация должна включаться в общую цифровую архитектуру предприятия через единые правила, контролируемые интеграции и журнал действий. Организация взаимодействия и согласование решений между участниками рассматриваются как существенная часть промышленной цифровизации [3]. Поэтому человек сохраняется в тех точках, где ошибка способна изменить кадровые данные, сумму выплаты, права доступа или юридический статус документа.

Результаты модельного сравнения приведены в таблице 2. Сценарий EIC не является прогнозом фактической эффективности конкретного предприятия. Его назначение – показать порядок расчета и перечень показателей, которые следует фиксировать до начала пилота и повторно измерять после его проведения.

Таблица 2

Модельные показатели процесса оформления отпуска

Показатель	До EIC	После EIC	Изм., %
Средний цикл, ч	16,7	6,4	-61,7%
Трудозатраты, чел.-ч	2,55	1,08	-57,6%
Возвраты, %	14	5	-64,3%
Ошибки, %	8	3	-62,5%
Касания документа, ед.	7,2	4,0	-44,4%
Стоимость заявки, руб.	2470	1425	-42,3%

По модельным данным средняя длительность цикла уменьшается на 10,3 ч: с 16,7 до 6,4 ч. Относительное сокращение составляет 61,7% от базового уровня. В рамках предложенного сценария этот результат связан прежде всего с устранением повторного ввода данных и сокращением ожидания между типовыми проверками, а не с ускорением генерации текста как самостоятельной операции.

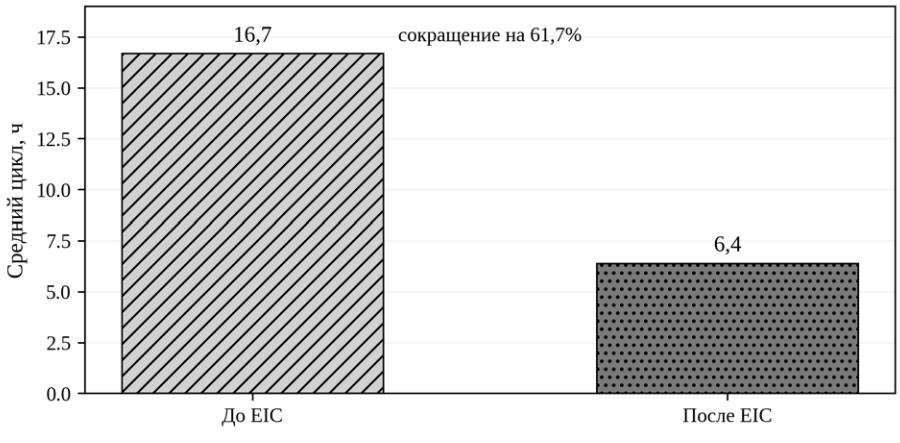


Рис. 1. Средняя длительность цикла до и после EIC (модельный сценарий)

По возвратам и ошибкам также наблюдается снижение. Доля возвратов уменьшается с 14 до 5%, то есть на 9 процентных пунктов; доля ошибок – с 8 до 3%, или на 5 процентных пунктов. Для экономической безопасности эти показатели существенны по разным причинам: возврат увеличивает трудозатраты нескольких участников, тогда как ошибка может привести к неверной выплате, нарушению кадровой процедуры или необходимости корректировать уже зарегистрированные данные.

Годовой расчетный эффект определяется экономией трудозатрат за вычетом расходов на эксплуатацию EIC:

$$Э_{год} = N \times (T_{до} - T_{после}) \times C_{час} - C_{эксплуатации},$$

где N – число заявок в год; $T_{до}$ и $T_{после}$ – трудозатраты на одну заявку до и после внедрения EIC, чел.-ч; $C_{час}$ – стоимость часа работы; $C_{эксплуатации}$ – совокупные годовые расходы на эксплуатацию EIC.

Для модельного расчета принято 1200 заявок в год, стоимость часа – 950 руб., постоянные расходы 120 тыс. руб. в год и переменные расходы 280 руб. на одну заявку. Годовые расходы на эксплуатацию составляют 120 000 + 280 × 1200 = 456 000 руб. Экономия трудозатрат равна 1200 × (2,55 – 1,08) × 950 = 1 675 800 руб. Следовательно, расчетный годовой эффект составляет 1 675 800 – 456 000 = 1 219 800 руб. Зависимость результата от годового объема обращений показана на рис. 3: при малом потоке существенную роль играют постоянные расходы, а по мере роста числа типовых заявок итоговый эффект увеличивается почти линейно.

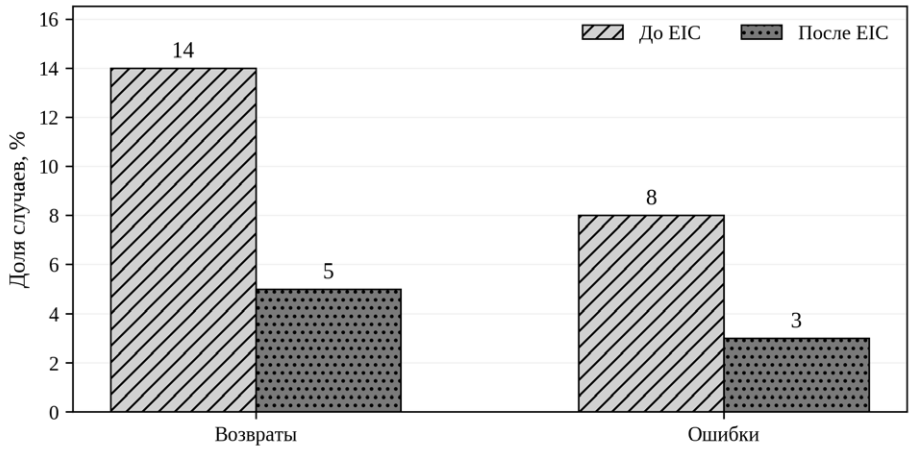


Рис. 2. Возвраты и ошибки до и после EIC (модельный сценарий)

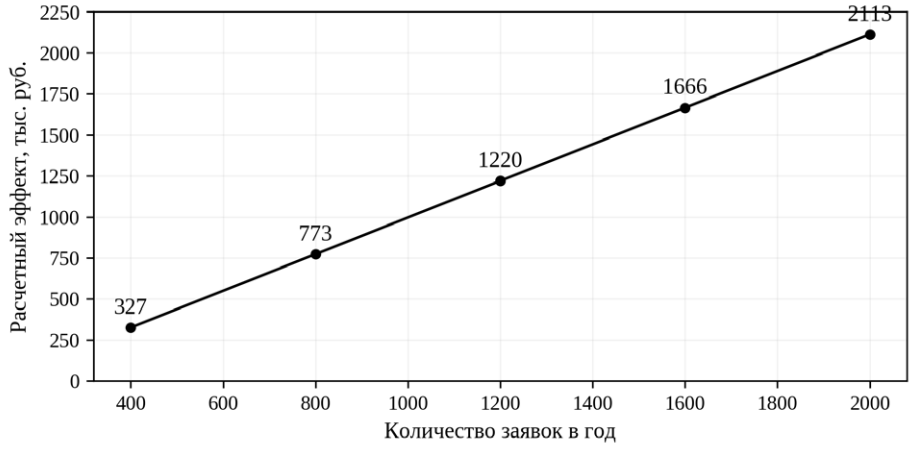


Рис. 3. Расчетный годовой эффект EIC в зависимости от числа заявок

Внедрение EIC целесообразно вести поэтапно. На первом этапе описывается текущий процесс и фиксируются исходные показатели; затем формируются модель процесса, база знаний, правила доступа и контрольные точки. Прототип проверяется на тестовой базе, после чего проводится ограниченный пилот с ручным контролем спорных случаев. После отпуска контур может распространяться на справки, командировки, платежные заявки, типовые договоры и бюджетные запросы. Процессы с высокой ценой ошибки – увольнения, казначейские платежи и нестандартные договоры – рационально переносить на более поздний этап, когда накоплены фактические данные о качестве работы системы и исключениях.

Выводы

В рамках предложенного подхода Enterprise Intelligence Center выступает сервисным слоем Индустрии 4.0 для административно-управленческого контура предприятия. Его назначение состоит не в создании универсального цифрового сотрудника, а в последовательной автоматизации рутинных операций при сохранении ответственности и трассируемости решений. Модель «данные + правила + ИИ-помощник + человек» ограничивает автономность системы в ситуациях, затрагивающих денежные расчеты, права сотрудников, доступ к данным и кадровые записи.

Модельная апробация на синтетическом массиве показывает, как результативность EIC может измеряться через длительность цикла, трудозатраты, возвраты, ошибки, касания документа и стоимость заявки, а затем сопоставляться с рисками экономической безопасности. Расчетные значения демонстрируют потенциальное направление эффекта, но не подтвержда-

ют фактическую эффективность на конкретном предприятии. Следующим этапом должна стать пилотная проверка на обезличенном массиве реальных заявок с единым протоколом измерений до и после внедрения, фиксацией исключений и регистрацией случаев, когда решение передается специалисту.

Список литературы

1. Кудрявцева, С. С. Модель индустрии 4.0: морфологический анализ / С. С. Кудрявцева // Экономический вестник Республики Татарстан. – 2020. – № 2. – С. 40-46.

2. Курепина, Н. Л. Сравнительный анализ и оценка экономической безопасности регионального развития / Н. Л. Курепина // Экономическая безопасность. – 2020. – Т. 3, № 2. – С. 207-218.

3. Шинкевич, А. И. Моделирование инновационного развития мезосистем в цифровой экономике / А. И. Шинкевич, С. С. Кудрявцева // Менеджмент в России и за рубежом. – 2021. – № 4. – С. 95-101.

4. Шинкевич, А. И. Перспективы развития передовых производственных технологий в отраслях промышленности / А. И. Шинкевич, С. С. Кудрявцева // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2024. – № 11. – С. 3-8.

5. Cha, S. Policy mix framework for AI regulation: A game-theoretic analysis of risk-based direct regulation and standardization approaches / S. Cha // Information Development. – 2025. – OnlineFirst.

6. Lacity, M. C. Robotic Process Automation at Telefonica O2 / M. C. Lacity, L. P. Willcocks // MIS Quarterly Executive. – 2016. – Vol. 15, № 1. – P. 21-35.

7. Oztemel, E. Literature review of Industry 4.0 and related technologies / E. Oztemel, S. Gursev // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2020. – Vol. 31. – P. 127-182.

8. Siderska, J. Robotic Process Automation: a driver of digital transformation? / J. Siderska // Engineering Management in Production and Services. – 2020. – Vol. 12, № 2. – P. 21-31.

9. van der Aalst, W. M. P. Robotic Process Automation / W. M. P. van der Aalst, M. Bichler, A. Heinzl // Business & Information Systems Engineering. – 2018. – Vol. 60, № 4. – P. 269-272.

10. Tabassi, E. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) / E. Tabassi. – Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2023.

УДК 004

ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУР ДЕТЕКТОРОВ ОБЪЕКТОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ: ОТ YOLOV10 К YOLOV26 И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Кочергин В.В., аспирант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»;
ORCID: 0009-0009-0211-6086;
Кочергин А.В., студент ГАПОУ «Международный центр компетенций Казанский техникум информационных технологий и связи», г. Казань, Россия

THE EVOLUTION OF REAL-TIME OBJECT DETECTOR ARCHITECTURES: FROM YOLOV10 TO YOLOV26 AND THEIR APPLICATIONS

Kochergin V.V., Postgraduate Student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI;
ORCID: 0009-0009-0211-6086;
Kochergin A.V., student, Kazan College of Information Technology and Communications, Kazan, Russia

Аннотация

В данной статье проведен систематический анализ эволюции семейства моделей YOLO (You Only Look Once) в период с 2024 по 2026 гг. Исследование фокусируется на ключевых архитектурных инновациях, направленных на оптимизацию баланса между точностью и скоростью вывода в реальном времени. Проанализирован переход от сверточных нейронных сетей (CNN) к гибридным архитектурам, включающим механизмы внимания, гиперграфовые связи и отказ от этапа не-максимального подавления (NMS). На основе сравнительного анализа моделей YOLOv10, YOLOv11, YOLOv12, YOLOv13 и новейшей архитектуры YOLOv26 показано, что интеграция методов, заимствованных из области больших языковых моделей (LLM), и оптимизация для периферийных вычислений (Edge AI) позволяют снизить задержку обработки на центральном процессоре (CPU) до 43% при сохранении показателя средней точности (mAP) выше 40%. Результаты исследования обосновывают выбор оптимальных архитектурных решений для задач автономного транспорта, промышленного IoT и робототехники.

Ключевые слова: компьютерное зрение, обнаружение объектов, YOLO, глубокое обучение, механизмы внимания, гиперграфы, периферийные вычисления

Abstract

This paper provides a systematic analysis of the evolution of the YOLO (You Only Look Once) family of models between 2024 and 2026. The study focuses on key architectural innovations aimed at optimizing the balance between accuracy and real-time inference speed. It explores the transition from convolutional neural networks (CNNs) to hybrid architectures incorporating attention mechanisms, hypergraph connections, and the elimination of the non-maximum suppression (NMS) step. Based on a comparative analysis of the YOLOv10, YOLOv11, YOLOv12, YOLOv13, and the latest YOLOv26 models, it has been shown that the integration of methods borrowed from the field of large language models (LLM) and optimization for edge computing (Edge AI) can reduce processing latency on the central processing unit (CPU) by up to 43% while maintaining an average precision (mAP) above 40%. The results of this study provide evidence for the selection of optimal architectural solutions for autonomous transportation and industrial IoT applications.

Keywords: computer vision, object detection, YOLO, deep learning, attention mechanisms, hypergraphs, and edge computing

Задачи обнаружения объектов в режиме реального времени являются критическим компонентом для развития автономного транспорта, робототехники, интеллектуального видеонаблюдения и промышленного IoT. Традиционные подходы, базирующиеся на сверточных нейронных сетях (CNN), продемонстрировали высокую эффективность, однако их применение в ресурсно-ограниченных средах сталкивается с рядом проблем: высокой вычислительной сложностью этапа постобработки (в частности, не-максимального подавления – NMS) и необходимостью компромисса между точностью детекции и скоростью инференса.

В период 2024-2026 гг. семейство моделей YOLO претерпело фундаментальные изменения. Если предыдущие версии ориентировались преимущественно на оптимизации сверточных слоев, то современные архитектуры (начиная с YOLOv10) переосмыслили процесс обучения и вывода. Основными векторами развития стали: полный отказ от этапа NMS, внедрение механизмов внимания (Attention Mechanisms) для улавливания глобальных зависимостей и адаптация алгоритмов для работы на маломощных периферийных устройствах (Edge AI).

Целью данной работы является систематизация архитектурных инноваций последних лет, количественный анализ их влияния на производительность и обоснование выбора оптимальных решений для различных сценариев практического применения.

Методологическая эволюция архитектур YOLOv10: Революция сквозного вывода (End-to-End)

В 2024 г. было представлено решение YOLOv10, ознаменовавшее переход к архитектуре сквозного вывода [1–3]. Ключевой инновацией стал полный отказ от этапа не-максимального подавления (NMS), который традиционно являлся «узким местом» конвейера обработки, вносящим недетерминированную задержку. На рис. 1 представлено сравнение процесса постобработки: традиционный NMS (слева) и сквозной вывод YOLOv10 (справа).



Рис. 1. Сравнение процесса постобработки: традиционный NMS (слева) и сквозной вывод YOLOv10 (справа)

Архитектура реализует механизм двойного назначения (Dual Label Assignment), использующий две специализированные «головы» (heads):

1. Голова «один ко многим»: обеспечивает плотный контроль и формирование богатых обучающих сигналов посредством стратегии сопоставления «один ко многим».

2. Голова «один к одному»: применяет стратегию «один к одному» (аналогично алгоритму венгерского сопоставления в трансформерах DETR), генерируя уникальные предсказания, что исключает необходимость постобработки.

Для синхронизации обучения обеих ветвей используется согласованная метрика, гарантирующая, что лучшие образцы, выбранные одной ветвью, будут оптимальны и для другой:

$$m(\alpha, \beta) = s \cdot p^{\alpha} \cdot \mathrm{IoU}\left(\hat{b}, b\right)^{\beta},$$

где s – коэффициент уверенности, p – точность предсказания, IoU – пересечение над объединением (Intersection over Union) между предсказанной b и истинной b рамками; α, β – гиперпараметры баланса.

Экспериментальные данные показывают, что модель YOLOv10-N демонстрирует скорость вывода на 25% выше по сравнению с YOLOv8 при сохранении mAP на уровне 45,6% (против 41,5% у предшественника). Это подтверждает гипотезу о том, что устранение NMS не только упрощает вычислительный конвейер, но и повышает точность за счет исключения ошибок, связанных с агрессивным отсечением перекрывающихся прогнозов.

YOLOv11: Модульность и унификация задач

В мае 2024 г. компания Ultralytics представила YOLOv11 [4, 5], сфокусированную на расширении функциональности и повышении модульности архитектуры:

– оптимизированный блок C3K2: усовершенствованная версия блока C3, обеспечивающая более эффективное извлечение признаков при сохранении вычислительной легкости;

– многозадачность: архитектура унифицирует задачи детекции, сегментации, оценки позы (Pose Estimation) и обнаружения ориентированных объектов (OBB) в едином конвейере;

– эффективность: модель YOLOv11m достигает mAP 51,5% на наборе данных COCO, используя на 22% меньше параметров, чем YOLOv8m, что свидетельствует о повышении информационной плотности весовых коэффициентов.

YOLOv12: Интеграция механизмов внимания

В начале 2025 г. был сделан шаг к преодолению ограничений чистых CNN за счет внедрения механизмов внимания [6], ранее считавшихся избыточными для задач реального времени.

– Модуль Area Attention: вместо глобального внимания с квадратичной сложностью $O(n^2)$ используется зональное внимание, разделяющее карту признаков на сегменты. Это снижает вычислительную сложность до $O(n^2)/2$, сохраняя большое рецептивное поле.

– R-ELAN (Residual Efficient Layer Aggregation Networks): улучшенная структура агрегации признаков с остаточными связями, обеспечивающая стабильность обучения глубоких сетей.

– Оптимизация памяти: применение Flash Attention и отказ от явного позиционного кодирования позволили сохранить скорость вывода, сопоставимую с CNN-моделями, при значительном росте точности (YOLOv12-N: mAP 40,6% против 39,4% у YOLOv11-N).

YOLOv13: Гиперграфы и корреляции высокого порядка

Во втором квартале 2025 г. Университет Цинхуа представил модель YOLOv13 [7, 8], предложившую новый подход к моделированию контекстных связей между объектами.

– HyperACE (Hypergraph-Based Adaptive Correlation Enhancement): пиксели и признаки рассматриваются как вершины гиперграфа. Обучаемый модуль формирует гиперребра, связывающие группы объектов, что позволяет моделировать сложные зависимости (например, взаимодействие людей в толпе или связь объекта с фоном).

– FullPAD (Full-Pipeline Aggregation-and-Distribution): парадигма распределения признаков по всему конвейеру (от backbone к head) через три туннеля, улучшающая поток градиентов.

– DS-блоки: замена стандартных сверток на глубинно разделяемые (Depthwise Separable Convolution, DSConv) для снижения вычислительной нагрузки без потери рецептивного поля.

Результат: YOLOv13n показывает mAP 41,6%, превосходя предшественников, особенно на сложных сценах с перекрывающимися объектами.

YOLOv26: Архитектура, ориентированная на периферийные вычисления (Edge First)

В январе 2026 г. была представлена модель YOLOv26 [9, 10], спроектированная специально для маломощных устройств (CPU, микроконтроллеры, IoT).

– Полный отказ от DFL и NMS: устранение Distribution Focal Loss и NMS обеспечивает детерминированную задержку и упрощает экспорт в форматы квантования INT8/FP16.

– Оптимизатор MuSGD: гибрид стохастического градиентного спуска (SGD) и оптимизатора Muon (из архитектуры LLM Moonshot AI), обеспечивающий ускоренную сходимость и стабильность обучения.

– ProgLoss и STAL: методы прогрессивной балансировки потерь и назначения меток для мелких объектов, критичные для аэрофотосъемки.

– Производительность: YOLOv26 обеспечивает ускорение вывода до 43% на CPU по сравнению с предыдущими поколениями при сохранении высокой точности (YOLOv26n: mAP 40,9% при времени инференса 38,9 мс на CPU).

Сравнительный анализ производительности моделей

Для объективной оценки эволюции моделей проведен сравнительный анализ ключевых метрик на стандартном бенчмарке MS COCO (входное изображение 640x640). В табл. 1 представлены сравнительные характеристики компактных моделей (размер n).

Таблица 1

Сравнительные характеристики компактных моделей (размер n)

Модель	Год выхода модели	mAP (50-95)	Скорость CPU (мс)	Параметры (М)	Ключевая особенность
YOLOv10n	2024	38,5%	2,5	2,3	Отказ от NMS, двойное назначение
YOLOv11n	2024	39,4%	1,53	2,6	Модульность C3K2, универсальность
YOLOv12n	2025	40,6%	1,83	2,6	Area Attention, R-ELAN
YOLOv13n	2025	41,6%	1,97	2,5	Гиперграфы (HyperACE), DS-блоки
YOLOv26n	2026	40,9%	38,9	2,4	Edge-first, MuSGD, INT8 совместимость

Примечание: Данные скорости CPU получены в среде ONNX Runtime. YOLOv26 демонстрирует уникальную архитектуру, где скорость на GPU (TensorRT) остается высокой (1,7 мс), однако основной прорыв зафиксирован в эффективности на CPU.

Анализ трендов:

1. Рост точности: наблюдается стабильный рост mAP от 38,5% (v10) до 41,6% (v13), что подтверждает эффективность внедрения сложных механизмов (внимание, гиперграфы).

2. Эффективность на CPU: YOLOv26 демонстрирует смену парадигмы. Если предыдущие модели были оптимизированы для GPU, что критично для массового внедрения в IoT.

3. Снижение сложности: уменьшение количества параметров при росте точности свидетельствует о повышении информационной плотности моделей.

Практическое применение моделей

Эволюция архитектур открывает новые возможности для различных отраслей экономики и социальной сферы:

– Умные города и транспорт (YOLOv13, YOLOv26): использование гиперграфов в YOLOv13 позволяет эффективно анализировать сложные дорожные ситуации с множеством участников движения, выявляя скрытые корреляции между пешеходами и транспортными средствами. YOLOv26, благодаря поддержке квантования INT8, может быть развернут непосредственно в камерах видеонаблюдения и умных светофорах без необходимости подключения к мощным серверным кластерам, что снижает затраты на инфраструктуру. На рис. 2 представлена визуализация механизма HyperACE в YOLOv13: выявление глобальных зависимостей между объектами через гиперграфы.

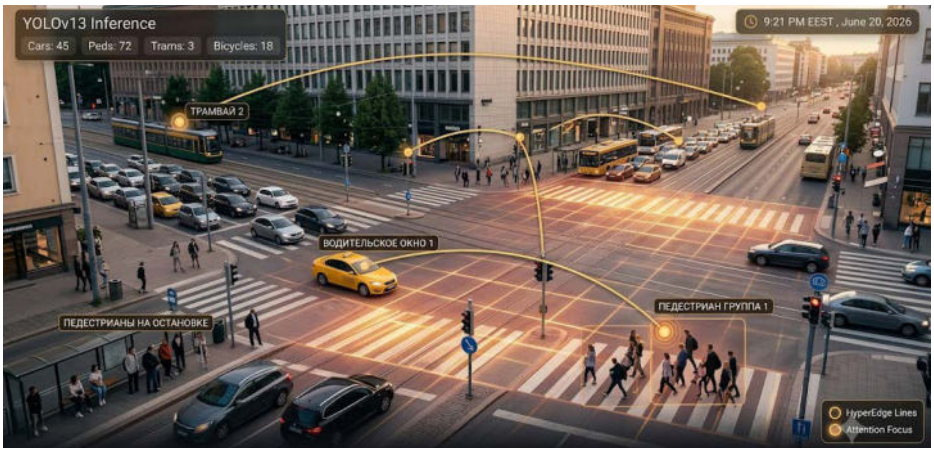


Рис. 2. Визуализация механизма HyperACE в YOLOv13:
выявление глобальных зависимостей между объектами через гиперграфы

– Аэрокосмическая отрасль и сельское хозяйство (YOLOv26 OBB): модели с поддержкой ориентированных рамок (OBB) и оптимизацией для мелких объектов (STAL) позволяют дронам с маломощными процессорами точно обнаруживать посевы, сельскохозяйственную технику или объекты инфраструктуры на больших высотах, обеспечивая мониторинг в режиме реального времени даже при отсутствии стабильного интернет-соединения. На рис. 3 представлено развертывание модели YOLOv26 на периферийном устройстве для мониторинга в сельском хозяйстве.



Рис. 3. Развертывание модели YOLOv26 на периферийном устройстве для мониторинга в сельском хозяйстве

– Робототехника и медицинские системы (YOLOv11, YOLOv12): универсальность YOLOv11 и точность оценки позы в YOLOv12 делают их пригодными для роботизированной хирургии и систем реабилитации. Примером может служить система, одновременно обнаруживающая хирургические инструменты и оценивающая позу пациента, что критично для предотвращения ошибок в динамических условиях операции.

– Динамические среды и открытый словарь (YOLOE-26): новая модель YOLOE-26 позволяет системам обнаруживать объекты по текстовому описанию (zero-shot detection). Это решает проблему работы роботов в неизвестных средах, где заранее неизвестен полный набор классов объектов, например, при поиске потерянных предметов в складских помещениях или при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. На рис. 4 представлена демонстрация возможности Zero-shot детекции в модели YOLOE-26 в условиях неизвестной среды.

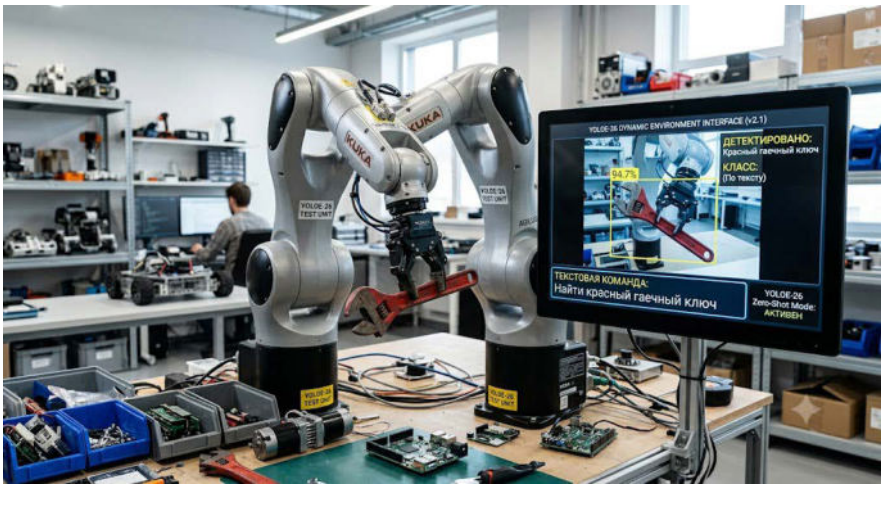


Рис. 4. Демонстрация возможности Zero-shot детекции в модели YOLOE-26 в условиях неизвестной среды

Заключение

Анализ развития семейства YOLO в период 2024–2026 годов выявляет фундаментальный сдвиг в парадигме обнаружения объектов. Современные модели (YOLOv10 – YOLOv26) решают системные проблемы, характерные для ранних версий: устраняют необходимость постобработки (NMS), интегрируют механизмы внимания и адаптируются под периферийные вычисления.

Ключевые выводы исследования:

1. Отказ от NMS стал стандартом для задач реального времени, обеспечивая детерминированную задержку и упрощение развертывания.

2. Гибридные архитектуры, сочетающие CNN, механизмы внимания и гиперграфы, позволяют достигать точности, ранее недоступной для систем реального времени.

3. Оптимизация для Edge AI (YOLOv26) открывает путь к массовому внедрению ИИ на устройствах с ограниченными ресурсами, делая технологии доступными для IoT и мобильной робототехники.

4. Использование методов из области LLM (оптимизатор MuSGD) демонстрирует высокую эффективность кросс-доменного переноса знаний.

Будущее детекторов объектов лежит в дальнейшем усилении адаптивности, способности работать с открытыми словарями и максимальной энергоэффективности. YOLOv26 и его производные задают новый стандарт, превращая детекторы из простых алгоритмов в интеллектуальные автономные системы, готовые к работе в сложных условиях реального мира.

Список литературы

1. Сравнение YOLOv10, YOLOv9 и YOLOv8: обзор архитектур и производительности [Электронный ресурс] // ReadMedium. – 2024. – Режим доступа: https://readmedium.com/yolov10-vs-yolov9-vs-yolov8-8a3c3d59b6f (дата обращения: 18.05.2026).

2. YOLOv10: экспорт моделей [Электронный ресурс] // Ultralytics Documentation. – 2024. – Режим доступа: https://docs.ultralytics.com/ru/models/yolov10/#exporting-yolov10 (дата обращения: 18.05.2026).

3. Wang, A. YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection [Электронный ресурс] / A. Wang, H. Chen и др. – arXiv preprint arXiv:2405.14458, 2024. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2405.14458 (дата обращения: 18.05.2026).

4. Ultralytics. YOLOv11: The Most Advanced YOLO Model [Электронный ресурс] // Ultralytics Documentation. – Redmond, WA: Ultralytics, 2024. – Режим доступа: https://docs.ultralytics.com/models/yolo11/ (дата обращения: 18.05.2026).

5. YOLOv11: новый стандарт реального времени [Электронный ресурс] / S. Gao // LearnOpenCV. – 2024. – Режим доступа: https://learnopencv.com/yolo11/ (дата обращения: 18.05.2026).

6. Ultralytics. YOLOv12: Attention-Based Real-Time Object Detection [Электронный ресурс] // Ultralytics Documentation. – Redmond, WA: Ultralytics, 2025. – Режим доступа: https://docs.ultralytics.com/ru/models/yolo12/ (дата обращения: 18.05.2026).

7. Сравнение YOLOv12 и YOLOv13: эволюция обнаружения объектов в реальном времени [Электронный ресурс] // SO-Development. – 2025. – Режим доступа: https://ru.so-development.org/сравнение-yolov12-и-yolov13-эволюция-обнаружения-объектов-в-реальном-времени/ (дата обращения: 18.05.2026).

8. YOLOv13: Real-Time Object Detection with Hypergraph-Enhanced Adaptive Visual Perception [Электронный ресурс] / iMoonLab // GitHub. – 2025. – Режим доступа: https://github.com/iMoonLab/yolov13 (дата обращения: 18.05.2026).

9. Ultralytics. YOLOv26: Edge-First Real-Time Object Detection [Электронный ресурс] // Ultralytics Documentation. – Redmond, WA: Ultralytics, 2026. – Режим доступа: https://docs.ultralytics.com/ru/models/yolo26/ (дата обращения: 18.05.2026).

10. YOLOv26: развертывание в реальном времени [Электронный ресурс] / S. Gao // LearnOpenCV. – 2026. – Режим доступа: https://learnopencv.com/yolov26-real-time-deployment/ (дата обращения: 18.05.2026).

УДК 004.896:629.7.02

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ФЮЗЕЛЯЖЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Крупенникова Д.Е., инженер научно-исследовательской лаборатории 29;
ORCID: 0000-0002-6857-7055;
E-mail: diana-kr2002@mail.ru;
Гайнутдинов Р.Р., к.т.н., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1973-2941;
E-mail: emc-kai@mail.ru

AUTOMATION OF ON-BOARD EQUIPMENT PLACEMENT IN THE AIRCRAFT FUSELAGE

Krupennikova D.E., Engineer, Research Laboratory 29;
ORCID: 0000-0002-6857-7055;
E-mail: diana-kr2002@mail.ru;
Gainutdinov R.R., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer-Aided Design, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1973-2941;
E-mail: emc-kai@mail.ru

Аннотация

В данной работе проведены исследования автоматизации задачи компоновки блоков бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата. Сформулирована содержательная и математическая постановка задачи с учётом трёх основных критериев: минимизация числа межотсечных соединений, обеспечение требуемого положения центра масс и электромагнитная совместимость оборудования. Сформулированы ограничения, включая фиксированное размещение некоторых блоков и ограничение по объёму отсеков. Модифицирован генетический алгоритм для решения задачи компоновки бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата с учетом электромагнитной совместимости. Разработана программная реализация на языке C# с использованием библиотеки SharpGL для трёхмерной визуализации результатов. Приведены результаты работы программы, подтверждающие работоспособность и практическую применимость предложенного подхода для автоматизации задачи компоновки.

Ключевые слова: компоновка, летательный аппарат, генетический алгоритм, электромагнитная совместимость

Abstract

This paper examines the automation of avionics unit placement within an aircraft fuselage. A substantive and mathematical formulation of the problem is formulated, considering three key criteria: minimizing the number of intercompartment connections, ensuring the required center of mass

position, and ensuring electromagnetic compatibility of the equipment. Constraints are formulated, including the fixed placement of some units and a limited compartment volume. To solve the problem of avionics unit placement within an aircraft fuselage, taking electromagnetic compatibility into account, a genetic algorithm is modified. A software implementation in C# is developed using the SharpGL library for 3D visualization of the results. The program's results are presented, confirming the feasibility and practical applicability of the proposed approach to automating avionics unit placement.

Keywords: placement, aircraft, genetic algorithm, electromagnetic compatibility

Введение

В современном мире авиация играет важную роль в развитии экономики и обеспечении безопасности страны. Таким образом данное развитие авиации приводит к появлению новых технологий и решений. Процесс проектирования летательных аппаратов (ЛА) является трудоемким и сложным, а этап компоновки его важной частью. В рамках данной работы затрагивается аспект компоновки, связанный с рациональным размещением бортового оборудования в пространстве фюзеляжа ЛА с учетом электромагнитной совместимости.

Обеспечение электромагнитной совместимости – одна из ключевых задач при проектирование современного ЛА. Проблема электромагнитной совместимости становится особенно актуальной в связи с постоянным увеличением количества электронных систем на борту ЛА. Если на этапе разработки ЛА не уделять должного внимания вопросам электромагнитной совместимости, это может привести к сбоям в его работе и снижению эксплуатационной надёжности [1].

Цель данной работы – поиск оптимальной компоновки блоков бортового оборудования фюзеляжа ЛА на основе модифицированного генетического алгоритма, обеспечивающего соблюдение полного набора предъявляемых ограничений и критериев.

Постановка задачи

Процесс компоновки бортового оборудования в пространстве фюзеляжа является важнейшей частью общего проектирования ЛА. На этой стадии задаются внешние контуры отсеков и происходит распределение блоков по отсекам, причём выбор должен соответствовать ряду критериев и жёстких ограничений. Однако на практике полное соблюдение всех требований невозможно, поэтому компоновка превращается в задачу многокритериальной оптимизации, требующую поиска взвешенных компромиссов.

Входными данными для задачи являются: топология электрических соединений между блоками бортового оборудования, количество и геометрические размеры отсеков фюзеляжа, а также полный набор характеристик каждого блока: габариты, масса, устойчивость к электромагнитным помехам и собственный уровень излучения. Дополнительно учитывается пространственное распределение напряжённостей электрического и магнитного полей внутри фюзеляжа.

Выходными данными задачи является трехмерная модель ЛА с компоновкой блоков бортового оборудования по отсекам [2].

Ограничениями задачи являются:

1. Инженер-конструктор изначально может разместить определенные блоки бортового оборудования в конкретные отсеки;

2. Ограничение на количество отсеков;

3. Суммарный объем блоков, размещаемых в отсеке, не должен превышать объем данного отсека.

Для решения данной задачи компоновки блоков бортового оборудования предложены следующие критерии:

1. Минимизация суммарного числа линий связи между отсеками. Этот критерий положительно влияет на электрические параметры ЛА, облегчает дальнейшую трассировку соедине-

ний блоков бортового оборудования и уменьшает трудоёмкость производства ЛА. Кроме того, уменьшение числа межотсечных связей способствует росту надёжности и срока службы устройства, снижению производственных издержек и повышению удобства эксплуатации. Суть критерия заключается в том, что если у двух блоков большое количество линий связи друг с другом, то их желательно помещать в один отсек. Данный критерий представлен в формуле (1).

$$F = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k\Sigma}\sum_{j=1}^{k\Sigma} d_{ij}, i \neq j, F \rightarrow min, \quad (1)$$

где F – количество соединений между отсеками, d_{ij} – количество соединений между i-ым и j-ым блоком, k – количество отсеков;

2. Центр масс. Данный критерий имеет первостепенное значение, поскольку от него напрямую зависят устойчивость и безопасность полёта ЛА. Именно поэтому в процессе компоновки появляется необходимость стремиться к минимизации возможного отклонения центра масс от изначально заданного положения. Любое такое отклонение отрицательно сказывается на лётных характеристиках при перегрузках и ухудшает управляемость воздушного судна [3]. Данный критерий представлен в формуле (2).

$$F_2 = \sqrt{(\frac{\sum_{i=1}^{n} m_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} - C_x)^2 + (\frac{\sum_{i=1}^{n} m_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} - C_y)^2 + (\frac{\sum_{i=1}^{n} m_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} - C_z)^2}, \quad (2)$$

где m_i – масса i-го блока, x_i, y_i, z_i – координаты x, y и z блока i, C_x, C_y, C_z – координаты x, y и z требуемого центра тяжести;

3. Электромагнитная совместимость. При компоновке оборудования необходимо учитывать требования электромагнитной совместимости, которые задаются пространственным распределением электрического и магнитного полей в фюзеляже [4]. В связи с этим блоки, чувствительные к электромагнитным воздействия, следует располагать вне областей, где интенсивность полей способна нарушить их штатное функционирование. Данный критерий представлен в формуле (3).

$$F_3 = \sum_{i=1}^{n} max(0, c_i - s_i), \quad (3)$$

где s_i – уровень помехоустойчивости i-го блока, c_i – напряженность электрического поля в центре i-го отсека.

Алгоритм решения задачи

В работе применяется модифицированный генетический алгоритм, заимствующий у биологической эволюции операции скрещивания, мутации и селекции. Такая эвристика позволяет эффективно решать задачу компоновки оборудования даже при строго фиксированном числе отсеков, где классические методы оптимизации часто оказываются малоэффективными [5].

Задача компоновки с ограничениями относится к классу NP-трудных, поэтому классические переборные методы здесь неприменимы. Генетические алгоритмы может быть применен автоматизации компоновки блоков бортового оборудования в фюзеляже ЛА благодаря способности эффективно исследовать большие пространства решений и избегать застревания в локальных оптимумах.

Описание алгоритма выглядит следующим образом:

1. Ввод исходных данных. Каждое решение представляет собой компоновку N блоков оборудования по M отсекам. Каждый элемент (ген) соответствует номеру отсека, в который помещен соответствующий блок. Некоторые блоки могут быть фиксированы в определенных отсеках.

2. Формирование начальной популяции. Номер генов соответствует номеру блока. Хромосомой являются отсек ЛА. Для каждого блока бортового оборудования выбирается отсек в фюзеляже ЛА, таким образом происходит формирования особи. Для генерации начальной популяции процесс формирования особи повторяется несколько раз [6].

3. Скрещивание. На данном этапе две родительские особи, выбранные случайно в результате попарного деления, формируют особь потомка при использование одноточечное простое скрещивание.

4. Мутация. В хромосоме случайным образом выбирается позиция, соответствующая одному из блоков, и её значение (номер отсека) заменяется на другой допустимый номер, также определяемый случайно. В результате такого преобразования возникают новые особи-мутанты [7].

5. Компоновка блоков бортового оборудования по отсекам.

6. Расчет целевых функций для каждой особи, которая представляет собой компоновку блоков бортового оборудования по отсекам ЛА.

7. Селекция. Отбор кандидатов в следующее поколение производится с учётом значений целевых функций, соответствующих отдельным критериям оптимизации. Для каждого из этих критериев выбирается одинаковое число наиболее качественных особей, и объединение этих отобранных вариантов служит основой для нового поколения [8].

8. Условие завершения эволюции проверяется на каждой итерации: если оно соблюдено, алгоритм переходит к п. 9, если нет – осуществляется отбор лучших особей для следующего поколения с последующим переходом к п. 3.

9. Компонуем блоки бортового оборудования в ЛА по особи с оптимальным решением для трёх целевых функций.

На рис. 1 представлена схема генетического алгоритма.

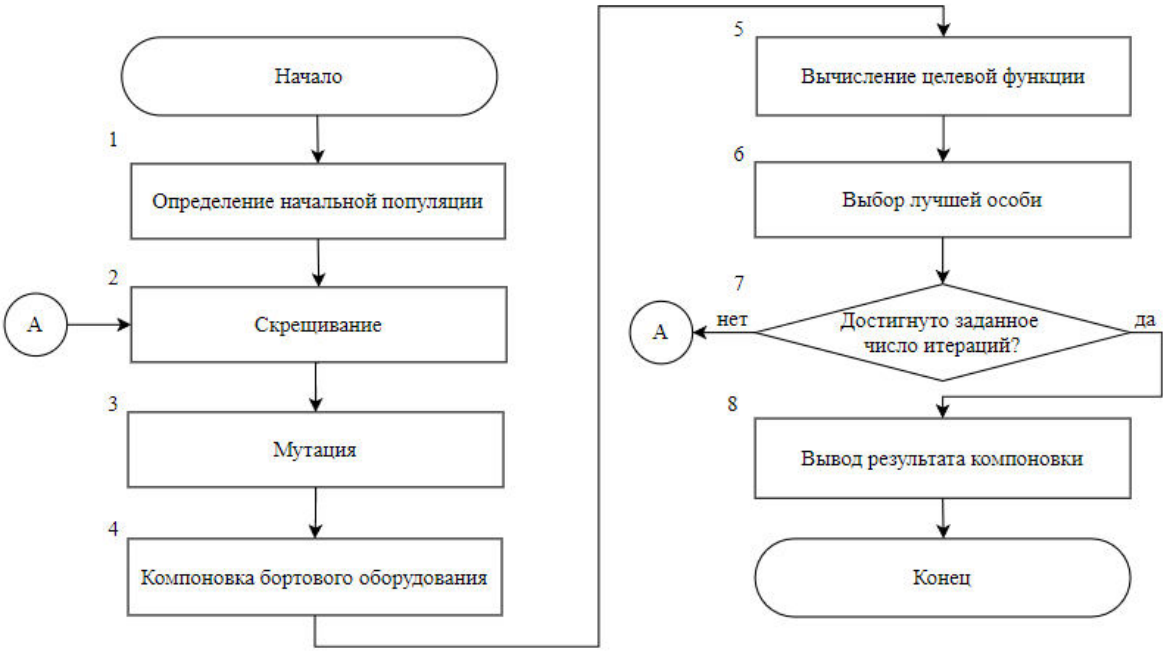


Рис. 1. Схема генетического алгоритма

Описание алгоритма для оценки качества решения:

1. Весовые коэффициенты свёртки подбираются отдельно для каждого из трёх критериев: минимизация суммарного числа линий связи между отсеками между блоками, центр масс и электромагнитная совместимость, причём каждому критерию ставится в соответствие свой вес.

2. Нахождение суммарной длины межблочных линий связи. После завершения пчелиного алгоритма, начинается этап оценки качества решений. Суммарная длина межблочных линий связи считается от центра блоков бортового оборудования.

3. Электромагнитная совместимость. Учитывает электромагнитное воздействие блоков бортового оборудования друг на друга.

4. Вычисляется воздействия внешнего электромагнитной излучения на блоки бортового оборудования соответственно при полученной компоновки.

5. Проводится свёртка для получения обобщенный критерий для компоновки блоков в отсеках ЛА [9].

Программная реализация

Для решения задачи компоновки блоков бортового оборудования в фюзеляже ЛА была разработана программная реализация на языке C# [10]. Для визуализации трёхмерной модели ЛА, в результате работы программы, использоваться библиотека SharpGL, кроссплатформенный программный интерфейс (API), который позволяет разработчикам создавать высокопроизводительные приложения с двумерной (2D) и трехмерной (3D) графикой.

В данной программе реализован ручной и автоматический ввода данных, ручной и автоматический выбор габаритов отсеков и их количества. Для учёта критерия электромагнитной совместимости необходимо предварительно выгрузить данные электромагнитного поля из программ трехмерного электродинамического моделирования. Так же в программе реализована визуализация распределение электрического и магнитного полей. Программная реализация позволяет рассмотреть фюзеляж со всех сторон с помощью камеры, так же присутствуют функции масштабирования изображения и возращение к исходному виду. Результата работы программы представлен на рис. 2.

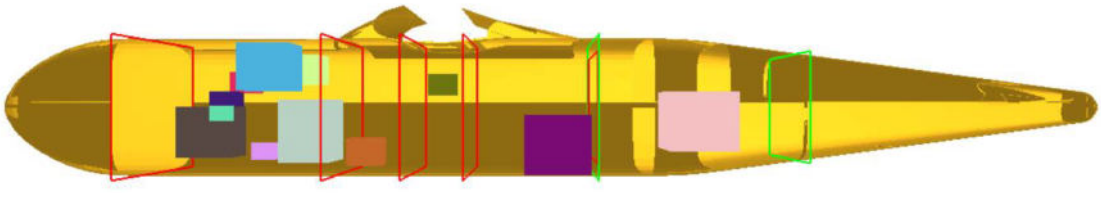


Рис. 2. Результат работы программы

В статье формализована многокритериальная задача компоновки бортового оборудования в фюзеляже ЛА с учётом минимизации суммарного числа линий связи между отсеками, центра масс и электромагнитной совместимости. Для её решения разработан модифицированный генетический алгоритм, который реализован на C# с трёхмерной визуализацией в SharpGL, что позволило автоматизировать поиск вариантов компоновки блоков бортового оборудования при наличии жёстких ограничений и подтвердить работоспособность подхода на практическом примере.

Список литературы

1. Исмагилов, В. В. Размещение антенных систем радиоэлектронных средств в локальной группировке / В. В. Исмагилов, Р. Р. Гайнутдинов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2026. – Т. 14, № 6 (57). С. 1-8.

2. Suzdaltsev I.V. Layout of Aircraft Onboard Equipment Electronic Units Taking into Account the Electromagnetic Compatibility Criterion / I.V. Suzdal'tsev, D.E. Krupennikova. // Russian Aeronautic. Vol. 67. P. 987–994.

3. Клягин, В. А. Анализ размещения блоков бортового радиоэлектронного оборудования на самолётах различных типов / В. А. Клягин, И. А. Петров, М. В. Шкурин // Труды МАИ. – 2017. – № 93. – 18 с.

4. Гайнутдинов, Р. Р. Методология исследования электромагнитной стойкости технических систем при внешних электромагнитных воздействиях от нескольких источников /

Р. Р. Гайнутдинов, С. Ф. Чермошенцев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2023. – № 1. – С. 135-141.

5. Интеллектуальные системы: модели и методы метаэвристической оптимизации: монография / Л. А. Гладков, Ю. А. Кравченко, В. В. Курейчик, С. И. Родзин. – Чебоксары: Среда, 2024. – 228 с.

6. Воронова, В. В. Генетический алгоритм при автоматизации проектирования электронных средств: учебное пособие / В. В. Воронова, И. В. Суздальцев. 2-е издание. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2016. – 74 с.

7. Крупенникова, Д. Е. Использование генетического алгоритма для решения задачи компоновки электронных узлов изделий / Д. Е. Крупенникова, И. В. Суздальцев // Актуальные проблемы современной науки и производства : Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, 27–29 ноября 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 2024. – С. 450-457.

8. Гайнутдинов, Р. Р. Размещение бортового оборудования в пространстве фюзеляжа беспилотного летательного аппарата с применением генетического алгоритма / Р. Р. Гайнутдинов, С. Ф. Чермошенцев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 1 (44). – С. 21.

9. Моисеев, В. С. О методе комплектования БПЛА бортовым оборудованием с использованием Парето оптимизации и экспертных решений / В. С. Моисеев, С. В. Новикова, Н. Л. Валитова, Э. Ш. Кремлева // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. – 2025. – №3. – С. 59–77.

10. Крупенникова, Д. Е. Автоматизация размещения бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата / Д. Е. Крупенникова // XXVII Туполевские чтения (школа молодых ученых): материалы международной молодёжной научной конференции, посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне. Сборник докладов, Казань, 13–14 ноября 2025 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2025. – С. 1989-1992.

УДК 343.98:004.8

ТЕХНИКО-ПРАВОВАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИИ-ПОМОЩНИКА СЛЕДОВАТЕЛЯ: УЧЁТ РИСКА ГАЛЛЮЦИНАЦИЙ

Крюкова К.Н., студент;
E-mail: krukovakn@gmail.com;
Улемджиев О.Б., студент Института кибербезопасности и цифровых технологий кафедры КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных», МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия;
E-mail: ulemdzhivka@mail.ru

TECHNICAL AND LEGAL MODEL FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF TESTIMONY WHEN USING AN INVESTIGATOR'S AI ASSISTANT: TAKING INTO ACCOUNT THE RISK OF HALLUCINATIONS

Kryukova K.N., student;
E-mail: krukovakn@gmail.com;
Ulemdzhiev O.B., Student, Institute of Cybersecurity and Digital Technologies, Department KB-14 «Digital Data Processing Technologies», MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia
E-mail: ulemdzhivka@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема применения искусственного интеллекта для анализа показаний в условиях значительного объёма материалов уголовного дела и риска формирования генеративной моделью недостоверной информации. Целью исследования является разработка технико-правовой модели использования ИИ-помощника следователя, обеспечивающей проверяемость формируемых им аналитических выводов и сохранение за человеком полномочий по оценке доказательств. В качестве методической основы предлагается комплексное применение технологии дополненной поиском генерации, графового представления фактических обстоятельств дела, отдельного графа правовых норм, источниковой верификации и повторного сопоставления результатов генерации. Разработанная архитектура предусматривает извлечение из материалов дела релевантных фрагментов, идентификацию лиц, событий, мест и временных характеристик, установление связей между ними и последующее формирование генеративного вывода с указанием его информационной основы. Для количественной характеристики надёжности аналитического результата предложен интегральный показатель, учитывающий степень подтверждённости первичными источниками, согласованность с графом фактов, устойчивость результата при повторной генерации и наличие признаков галлюцинации. Обосновано, что данный показатель не может рассматриваться как вероятность истинности показаний и предназначен исключительно для оценки надёжности результата информационной обработки. Определены правовые границы применения ИИ-помощника: сформированный нейросетью вывод не должен автоматически отождествляться с доказательством, а его использование в уголовном процессе требует проверки первичных источников и последующей самостоятельной оценки уполномоченным лицом. Предложенная модель позволяет объединить преимущества автоматизированной обработки больших массивов данных с механизмами технической и правовой верификации, что снижает риск переноса генеративных ошибок в процессуальные документы и способствует повышению контролируемости применения искусственного интеллекта в деятельности следователя.

Ключевые слова: искусственный интеллект, большие языковые модели, криминалистика, галлюцинации, генерация с дополненной выборкой, уголовное судопроизводство

Abstract

The article examines the problem of using artificial intelligence to analyze testimony in the context of a large volume of materials in a criminal case and the risk of the generative model generating unreliable information. The aim of the study is to develop a technical and legal model for using an AI assistant for investigators, ensuring the verifiability of the analytical conclusions it generates and preserving the human's authority to assess evidence. As a methodological basis, the authors propose a comprehensive application of search-augmented generation technology, graph representation of the factual circumstances of the case, a separate graph of legal norms, source verification, and re-comparison of the generated results. The developed architecture involves extracting relevant fragments from the case materials, identifying persons, events, locations, and temporal characteristics, establishing connections between them, and subsequently generating a generative output with an indication of its informational basis. To quantitatively characterize the reliability of the analytical result, an integral indicator is proposed that takes into account the degree of confirmation by primary sources, consistency with the fact graph, the stability of the result upon repeated generation, and the presence of signs of hallucination. It has been substantiated that this indicator cannot be considered as the probability of the truthfulness of the testimony and is intended solely for assessing the reliability of the information processing result. The legal boundaries for the use of an AI assistant have been defined: a conclusion generated by a neural network should not be automatically equated with evidence, and its use in criminal proceedings requires verification of primary sources and subsequent independent assessment by an authorized person. The proposed model makes it possible to combine the advantages of automated processing of large data sets with mechanisms of technical and legal verification, which

reduces the risk of transferring generative errors into procedural documents and helps to increase the controllability of the use of artificial intelligence in the investigator's work.

Keywords: artificial intelligence, large language models, criminology, hallucinations, retrieval-augmented generation, criminal proceedings

Введение

В настоящее время криминалистика как сфера деятельности сталкивается с большими трудностями, например, возрастание количества возбужденных уголовных дел, а вместе с тем и увольнение большого количества сотрудников в связи с невозможностью справиться с огромным количеством данных [1]. Материалы одного дела могут достигать сотни страниц, а количество допрашиваемых в таких случаях может достигать и пары десятков человек. При наличии «человеческого фактора» работники рискуют неверно составить криминалистическую модель, запутаться в показаниях, а также потратить несколько часов на выявление тех или иных фактов дела.

С огромным объёмом данных удержание всех деталей и подробностей дела становится непосильной для сотрудника задачей [2]. Стоит добавить, что нагрузка растёт не только из-за количества дел, но и из-за того, что материалы одного дела редко бывают «однородными»: они включают в себя характеристики, протоколы допросов, медицинские заключения, а может даже и очные ставки. И каждый документ имеет свою определенную структуру, составленную по особым правилам, которые необходимо одновременно удерживать в голове.

Сейчас мир находится на пике развития больших языковых моделей, которые умеют хорошо справляться с текстом: искать необходимые моменты, кратко пересказывать массивные тексты. Возможность применения больших языковых моделей для анализа судебных материалов уже исследуется на практике, в том числе с использованием современных отечественных и зарубежных генеративных моделей [3]. Поэтому внедрение искусственного интеллекта в юридическую сферу может облегчить выполнение рутинных аналитических задач. Такие модели уже применяются в смежных областях, например, Нейроюрист от Яндекс. Как следует из описания, ИИ-помощник представляет собой квалифицированного юриста, который может проконсультировать сотрудника, дать подробные ответы на вопросы, учитывая местное законодательство, судебную практику и разъяснения Минтруда России, а также дополнить свои ответы ссылками на материалы в системе «Гарант». Но пользователи зачастую сталкиваются с проблемой ложных данных – «галлюцинациями», то есть генерация нейросетью информации, которой либо не существует, либо прямо противоречит исходным условиям, либо является полностью выдуманной, не имеющей ссылок на ее подтверждение, и касается это не только российских продуктов, но и зарубежных [4]. В бытовых ситуациях последствия подобных выводов могут не сильно сказаться на результате, а вот в юриспруденции такое будет являться жесточайшей ошибкой [5].

Актуальность данной проблемы подтверждается судебной практикой. Рассмотрим пример: в мае 2026 года суд Западно-Сибирского округа впервые официально квалифицировал использование искусственного интеллекта как источник ложнопредставленных сведений и признал это неуважением к суду. Компания, выступавшая ответчиком по делу, представила в своей защите ссылки на судебные акты Верховного Суда РФ, Высшего Арбитражного Суда и акты арбитражных судов округов, приведя даже прямые цитаты [6, 7]. Но все это было фикцией. В связи с этим Суд наложил на ответчика штраф в размере 50000 рублей. Похожий прецедент произошел в Ейском городском суде Краснодарского края, где было доказано стороной защиты, что мотивировочная часть приговору по делу о получении взятки была составлена с помощью нейросетей [8]. Это было выявлено с помощью лингвистической экспертизы, однако апелляционная инстанция признала такой довод несостоятельным, сославшись на отсутствие прямого запрета в законе. Таким образом, риски, связанные с галлюцинациями, становятся основанием для процессуальных санкций и обжалований решений, поэтому разработка

технико-правовой модели оценки достоверности показаний с использованием ИИ-помощника следователя приобретает особую значимость.

Целью настоящего исследования является разработка технико-правовой модели использования ИИ-помощника следования для анализа показаний с учётом риска возникновения галлюцинаций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– определить основные виды ошибок генеративных моделей, способных повлиять на анализ показаний;

– разработать архитектуру ИИ-помощника, обеспечивающую проверяемость его выводов;

– объединить методы RAG, графового представления данных и верификацию посредством представления источников;

– определить критерии оценки надёжности аналитического вывода ИИ;

– установить границы юридического значения результатов работы ИИ-помощника.

Методика

В рамках исследования предлагается рассматривать ИИ-помощника не как самостоятельный инструмент для вынесения вердикта, а как систему информационно-аналитической поддержки. Принципиальным является разделение двух понятий: достоверность показаний и надёжность анализа.

Задача ИИ-помощника заключается в выявлении потенциальных противоречий, установлении взаимосвязей между сведениями, поиске подтверждающих или опровергающих фрагментов и формировании проверяемого аналитического вывода. Окончательная оценка доказательств и принятия процессуального решения остаются за уполномоченным лицом.

Для снижения риска галлюцинаций в работе предлагается объединить несколько методов. Первым является Retrieval-Augmented Generation (RAG). Его суть заключается в предварительном извлечении из материалов дела фрагментов, релевантных запросу пользователя, и передаче их языковой модели в качестве контекста. Это позволяет ограничить информационную основу ответами материалами конкретного уголовного дела. Стоит заметить, что RAG не исключает галлюцинации полностью. Модель может неправильно интерпретировать найденных фрагмент или сформировать вывод, который из него не следует [9].

Вторым методом является графовое представление данных. Из материалов дела извлекаются сущности (лица, места, события…) и устанавливаются связи между ними. Это позволяет осуществлять формальную проверку некоторых видов противоречий без непосредственного участия языковой модели.

Третьи механизмом является источниковая верификация. Каждый существенный ответ ИИ должен сопровождаться ссылкой на конкретный фрагмент исходного материала (например, допрос свидетеля Иванова И. И.) При этом сама ссылка не считается достаточным подтверждением, система должна проверить существование источника и соответствие приведённого фрагмента сформулированному утверждению.

Четвёртым механизмом является повторная генерация и сопоставление результатов. Получение нескольких вариантов ответа позволяет определить устойчивость вывода. Если при одинаковых исходных данных модель формирует существенно различающиеся ответы, то это рассматривается как дополнительный сигнал необходимости проверки результата. Вместе с тем совпадение нескольких генераций не может само по себе свидетельствовать о достоверности результата.

Дополнительно может применяться метод Decoding by Contrasting Layer (DoLa), который направлен на снижение отдельных видов генеративных ошибок за счёт сопоставления информации, формируемой различными слоями языковой модели. В предлагаемой системе данных метод рассматривается как вспомогательных механизм генеративного слоя и не заменяет внешнюю проверку по материалам дела.

На основе перечисленных методов предлагается использовать показатель надёжности аналитического вывода:

$$R = \omega_1 S + \omega_2 G + \omega_3 C + \omega_4 P + \omega_5 H,$$

где S – степень подтвержденности первичными источниками, G – согласованность с графом дела, C – устойчивость результата при повторной генерации, P – соответствие применимым правовым источникам, H – наличие признаков галлюцинации, w_1, …, w_5 – весовые коэффициенты соответствующих показателей.

Стоит отметить, что R – не является вероятностью истинности показаний, он просто характеризует степень надёжности самого информационно-аналитического вывода ИИ. Это разграничение имеет принципиального значение для правоприменения, поскольку даже высокий показатель технической надёжности не позволяет заменить предусмотренную законом оценку доказательств.

Основная часть

Разрабатываемая система предполагает использование трёх основных компонентов хранения и обработки данных. Первый компонент представляет собой графовое хранилище фактов уголовного дела. В нём располагаются обнаруженные сущности. Между сущностями формируются связи, позволяющие представить отдельные фрагменты материалов в единой структурированной системе (рис. 1).

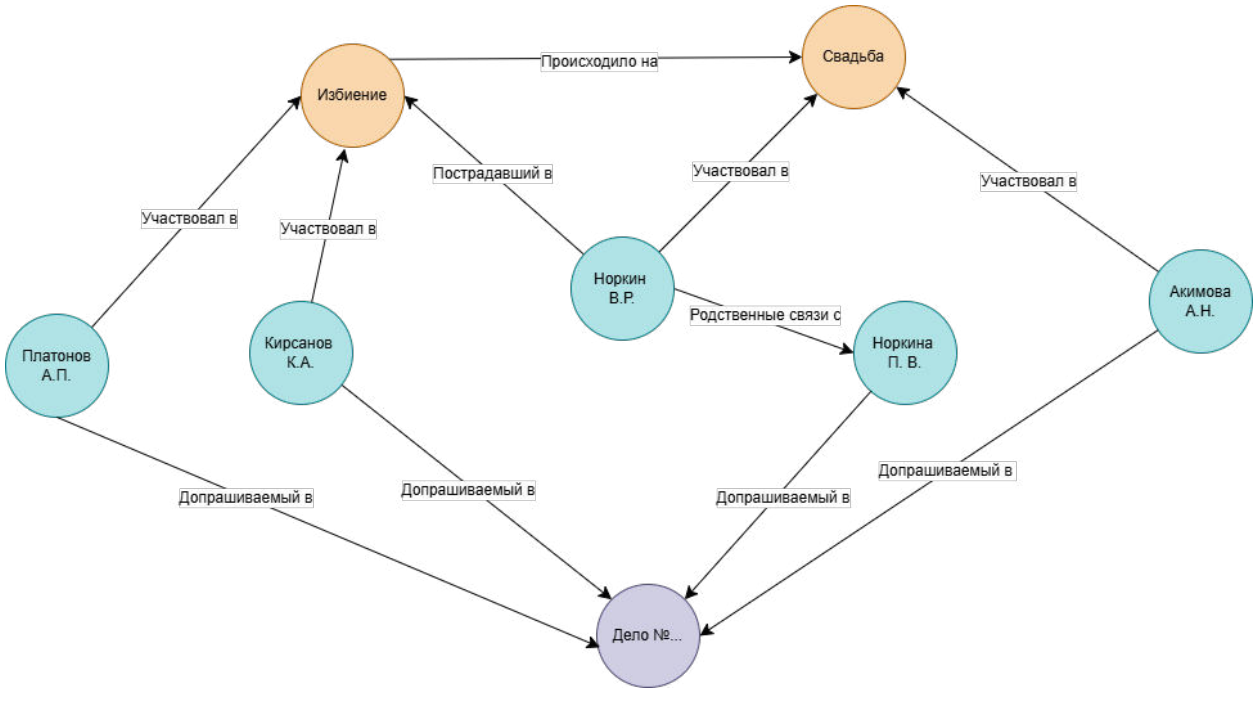


Рис. 1. Пример представления модели криминалистического дела в виде графа

Второе графовое хранилище является правовой опорой системы. В нём могут содержаться нормы УПК РФ, Конституции РФ и иных нормативных правовых актов, а при необходимости – сведения о судебной практике. Использование отдельного правового слоя позволяет отделить анализ фактических обстоятельств от проверки юридического основания соответствующего вывода.

Третьим компонентом является векторное хранилище, обеспечивающее семантический поиск по смысловой близости. Материалы дела разбиваются на фрагменты, для которых формируются векторные представления. При поступлении запроса система определяет наиболее релевантные фрагменты на основании косинусного сходства.

На уровне генеративного слоя устанавливается связь между LLM и RAG. Например, при запросе следователя «найти противоречия в показания Петрова» система сначала обращается к векторному хранилищу и извлекает наиболее близкие по смыслу фрагменты материалов дела. Параллельно проверяются упомянутые в запросе сущности по графу дела, система устанавливает, какие сведения уже известны о соответствующих лицах, местах и событиях и существуют ли между ними противоречивые связи (рис. 2).

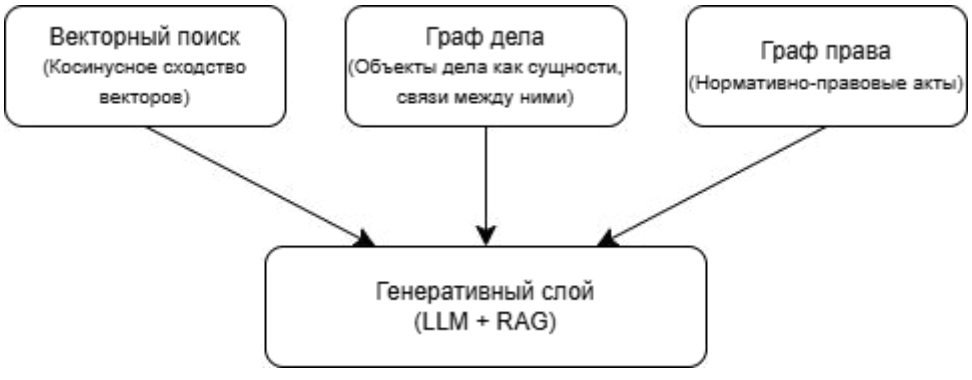


Рис. 2. Схема хранения данных

При необходимости дополнительно осуществляется обращение к правовому графу. Полученные фрагменты текста, связи между сущностями и соответствующие нормы права объединяются в единый контекст, после чего передаются языковой модели.

Общая последовательность работы системы имеет следующий вид (рис. 3).



Рис. 3. Обработка запроса

При этом итоговый результат должен содержать не только сформулированный вывод, но и основания для его получения, например: «Утверждение: Петров указал, что в день убийства находился дома (Источник: Дело №… Протокол допроса подозреваемого Петрова П. П.)

Найденное противоречие: Иванов утверждает, что видел Петрова в день убийство в оружейном магазине (Источник: Дело №… Протокол допроса свидетеля Иванова И. И.)»

Таким образом, система не утверждает, что показание Петрова является ложным, а лишь указывает на состыковку между показаниями Петрова и Иванова, далее следователю необходимо провести проверку.

Такой принцип является важным с точки зрения уголовно-процессуального законодательства. Согласно ст. 74 УПК РФ «доказательствами по уголовному делу являются любые сведения, на основе которых суд, прокурор, следователь, дознаватель, в порядке, определенным настоящим Кодексом, устанавливает наличие или отсутствие обстоятельств, подлежащих доказыванию при производстве по уголовному делу, а также иных обстоятельств, имеющих значение для уголовного дела». Статья 75 УПК РФ регулирует вопросы недопустимости доказательств, а ст. 88 УПК РФ устанавливает правила их оценки. Следовательно, результат работы генеративной модели не должен автоматически приравниваться к доказательству. Сам факт формирования информации нейросетью не превращает её в самостоятельный источник доказательств. Процессуальное значение соответствующих сведений зависит от способа их получения, закрепления и использования в уголовном процессе. Именно поэтому более корректно говорить не о том, что любая галлюцинация автоматически является недопустимым доказательством, а о риске того, что неподтверждённый вывод может быть ошибочно использован при формировании доказательственной базы или принятия процессуального решения.

Особое значение в данном случае имеет ст. 17 УПК РФ, закрепляющая принцип свободы оценки доказательств. Предлагаемая система не должна ограничивать полномочия следователя или суда и не может заменять их внутреннее убеждение. ИИ-помощник выполняет исключительно вспомогательную функцию – предоставляет результаты поиска, структурирования и сопоставления информации, после чего человек принимает самостоятельно решение.

Дополнительной проблемой является информационная безопасность. Материалы уголовного дела могут содержать персональные данные или иные сведения ограниченного доступа, поэтому использование нейросети должно предусматривать защищённый контур обработки информации, разграничение прав доступа и логирование действий пользователей и системы.

Выводы

Данное исследование показывает, что использование искусственного интеллекта в деятельности следователя может существенно снизить нагрузку, связанную с обработкой больших объёмов текстовой информации. Наиболее перспективными направлениями являются поиск необходимых эпизодов, структурирование материалов дела, установление взаимосвязей между сущностями и выявление потенциальных противоречий в показаниях. Вместе с тем использование генеративных моделей связано с риском галлюцинаций, поэтому ИИ-помощник не должен рассматриваться как самостоятельный субъект установления достоверности показаний.

Предложенная технико-правовая модель объединяет RAG, графовое представление материалов дела, правовой граф, дополнительную верификацию посредством ссылки на источники и дополнительные методы контроля генерации. Такое сочетание позволяет компенсировать ограничения каждого отдельного подхода. Разработанный показатель предназначен для оценки надёжности вывода ИИ (но не является вероятностью истинности показаний). А ключевым правовым принципом является разграничение результата работы ИИ и доказательства.

Список литературы

1. Колокольцев сообщил о проблеме с комплектованием кадров в МВД . – Текст : электронный // ТАСС : [сайт]. – URL: https://tass.ru/obschestvo/26496185 (дата обращения: 26.07.2026).

2. Поляков, Н. Human-in-the-Loop в LegalTech: обзор ключевых дел об ИИ-галлюцинациях в судах США / Н. Поляков. – Текст : электронный // zakon.ru : [сайт]. – URL: Human-in-the-Loop в LegalTech: обзор ключевых дел об ИИ-галлюцинациях в судах США (дата обращения: 02.08.2026).

3. Сердюк, Ю. П. Анализ судебных решений с помощью больших языковых моделей / Ю. П. Сердюк, Н. А. Власова, С. Р. Момот, Е. А. Сулейманова // Программные системы: теория и приложения. – 2026. – Т. 17. № 1. – С. 21–56. https://psta.psiras.ru/2026/1_21-56.

4. Magesh, V. Surani, F. Dahl, M. Suzgun, M. Manning, C. Ho, D. Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading AI Legal Research Tools / V. Surani [и др.] – Текст : электронный // TACC : [сайт]. – URL: https://arxiv.org/html/2405.20362v1 (дата обращения: 02.08.2026).

5. ИИ стал рабочим инструментом для большинства российских юристов. – Текст : электронный // Коммерсантъ : [сайт]. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/8314886 (дата обращения: 26.07.2026).

6. Кассация оштрафовала ответчика за неуважение к суду из-за фальсификации судебной практики в жалобе. – Текст : электронный // Адвокатская газета : [сайт]. – URL: https://www.advgazeta.ru/novosti/kassatsiya-oshtrafovala-otvetchika-za-neuvazhenie-k-sudu-iz-za-falsifikatsii-sudebnoy-praktiki-v-zhalobe/ (дата обращения: 17.08.2026).

7. Куликов, В. Впервые в России суд оштрафовал юристов за использование ИИ на процессе / В. Куликов. – Текст : электронный // rg.ru : [сайт]. – URL: https://rg.ru/2026/05/18/vpervye-v-rossii-sud-oshtrafoval-iuristov-za-ispolzovanie-ii-na-processe.html (дата обращения: 17.08.2026).

8. Судей на Кубани уличили в использовании ChatGPT для вынесения приговора. – Текст : электронный // IT-Jurist.ru : [сайт]. – URL: https://it-jurist.ru/news/sud-ispolzoval-chatgpt-dlya-prigovora-kuban/?ysclid=mte501zz1823134206 (дата обращения: 17.08.2026).

9. Vinícius, Teles de Oliveira Retrieval-Augmented Generation and Knowledge Graphs in Portuguese-Language Legal Documents / Teles de Oliveira Vinícius. – Текст : электронный // aclanthology.org : [сайт]. – URL: https://aclanthology.org/2026.propor-1.1.pdf (дата обращения: 29.08.2026).

УДК 621.865.8:681.513.6

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ АДАПТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРОВ

Кузнецов Д.Н., магистрант;
ORCID: 0009-0004-3946-7860;
Старостина Я.К., к.т.н., доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск, Россия;
ORCID: 0000-0003-2064-0067

ANALYSIS OF THE USE OF CONTROLLERS IN ADAPTIVE CONTROL OF MANIPULATOR ELECTRIC DRIVES

Kuznetsov D.N., Master's student;
ORCID: 0009-0004-3946-7860;
Starostina Ya.K., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations, Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia;
ORCID: 0000-0003-2064-0067

Аннотация

Адаптивное управление электроприводами роботов-манипуляторов является эффективным подходом к решению задачи позиционирования в условиях параметрической неопределенности и переменной нагрузки. В статье проведен анализ применения различных типов

регуляторов в системах адаптивного управления электроприводом манипуляторов. Рассмотрены особенности реализации ПИД-регуляторов, нечетких регуляторов, нейросетевых и гибридных систем управления. Проанализированы достоинства и недостатки каждого типа регуляторов, обоснована целесообразность их применения в зависимости от требований к точности, быстродействию и робастности системы. Показано, что гибридные схемы управления обеспечивают повышение точности позиционирования до 30% по сравнению с классическими регуляторами. Результаты анализа позволяют обоснованно выбирать тип регулятора при проектировании адаптивных систем управления электроприводами манипуляторов.

Ключевые слова: адаптивное управление, электропривод, манипулятор, регулятор, ПИД-регулятор, нечеткая логика, нейросетевые системы, гибридное управление

Abstract

Adaptive control of electric drives of robotic manipulators is an effective approach to solving the positioning problem under conditions of parametric uncertainty and variable load. The article analyzes the use of various types of controllers in adaptive control systems of manipulator electric drives. The features of implementation of PID controllers, fuzzy controllers, neural network and hybrid control systems are considered. The advantages and disadvantages of each type of controller are analyzed, the feasibility of their use depending on the requirements for accuracy, speed and robustness of the system is substantiated. It is shown that hybrid control schemes provide an increase in positioning accuracy up to 30% compared to classical controllers. The results of the analysis allow a reasonable choice of the controller type when designing adaptive control systems for manipulator electric drives.

Keywords: adaptive control, electric drive, manipulator, controller, PID controller, fuzzy logic, neural network systems, hybrid control

Введение

В современных робототехнических системах электроприводы манипуляторов являются основными исполнительными элементами, определяющими точность и динамические характеристики оборудования. Традиционные системы управления с постоянными параметрами регуляторов не всегда способны обеспечить требуемое качество управления при изменении нагрузки, температуры, износе механических элементов и других возмущающих факторах [1, 2].

В этой связи особый интерес представляет развитие адаптивных систем управления, способных автоматически настраивать параметры регуляторов или изменять структуру управления в зависимости от текущих условий работы привода. Ключевым элементом адаптивной системы является регулятор, от выбора типа и алгоритма настройки которого зависят динамические и точностные характеристики электропривода манипулятора [3, 4].

Целью работы является анализ применения различных типов регуляторов в системах адаптивного управления электроприводом манипуляторов и обоснование рекомендаций по их выбору.

Задачи исследования:

1. Анализ классических регуляторов в адаптивных системах управления электроприводом.
2. Исследование интеллектуальных регуляторов на основе нечеткой логики.
3. Рассмотрение нейросетевых и гибридных систем адаптивного управления.
4. Сравнительный анализ эффективности различных типов регуляторов.

Научная новизна работы:

1. Предложена классификация регуляторов адаптивных систем управления электроприводом манипуляторов с учетом особенностей робототехнических приложений.
2. Обоснованы критерии выбора типа регулятора в зависимости от характера возмущений и требований к системе [5].
3. Показано, что гибридные регуляторы, сочетающие ПИД-закон и нечеткую логику, обеспечивают снижение перерегулирования на 25-30% по сравнению с классическими схемами.

4. Установлены границы эффективного применения нейросетевых регуляторов в задачах адаптивного управления электроприводами манипуляторов.

Результаты анализа, полученные в работе:

– точность позиционирования при использовании адаптивных ПИД-регуляторов повышается на 15-20% по сравнению с неадаптивными аналогами;

– нечеткие регуляторы обеспечивают робастность к параметрическим возмущениям в диапазоне до 25% от номинальных значений;

– нейросетевые регуляторы требуют обучения на выборке не менее 1000-1500 примеров для достижения приемлемой точности.

Научный вывод, полученный во введении: полученные результаты анализа подтверждают эффективность применения адаптивных регуляторов в системах управления электроприводами манипуляторов и позволяют обоснованно выбирать тип регулятора для конкретных робототехнических задач [6, 7].

1. Классические регуляторы в адаптивных системах управления электроприводом

Традиционным подходом к управлению электроприводами манипуляторов является использование ПИД-регуляторов, которые обеспечивают требуемое качество управления при постоянных параметрах объекта. Однако в реальных условиях работы робота-манипулятора момент инерции, приведенный к валу двигателя, может изменяться в несколько раз при перемещении звеньев и изменении конфигурации кинематической цепи [1].

Адаптивные ПИД-регуляторы позволяют решить эту проблему путем автоматической подстройки коэффициентов пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих. Обобщенный закон управления для такого регулятора во временной области имеет следующий вид:

$$u(t) = K_p(t) \cdot e(t) + K_i(t) \cdot \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d(t) \cdot \frac{de(t)}{dt},$$

где $u(t)$ – управляющий сигнал на выходе регулятора; $e(t)$ – ошибка регулирования (рассогласование между заданным и текущим положением); $K_p(t)$, $K_i(t)$, $K_d(t)$ – адаптивно настраиваемые коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих соответственно.

Существуют различные подходы к настройке коэффициентов $K_p(t)$, $K_i(t)$, $K_d(t)$ в адаптивных ПИД-регуляторах: градиентные методы, метод эталонной модели, метод симметричного оптимума с коррекцией по нагрузке [2].

Важной особенностью адаптивных ПИД-регуляторов является возможность их реализации на стандартных программируемых логических контроллерах без существенного увеличения вычислительных затрат. Это делает их предпочтительным выбором для промышленных роботов средней и низкой ценовой категории [3].

Таблица 1

Сравнение методов адаптации ПИД-регуляторов

Метод адаптации	Требуемые вычислительные ресурсы	Скорость сходимости	Точность в установившемся режиме
Градиентный	Низкие	Средняя	Высокая
Эталонной модели	Средние	Высокая	Средняя
На основе оценки нагрузки	Низкие	Низкая	Высокая
Нечеткая настройка коэффициентов	Средние	Средняя	Высокая

Одним из эффективных методов является адаптация с использованием оценки момента сопротивления на валу двигателя. Принцип работы такого регулятора основан на том, что изменение нагрузки приводит к изменению ошибки регулирования скорости, по которой корректируются коэффициенты регулятора [4, с. 23].

Ограничением классических адаптивных ПИД-регуляторов является их чувствительность к высокочастотным помехам измерения и необходимость точной идентификации параметров объекта для обеспечения устойчивости [5].

2. Нечеткие регуляторы в адаптивном управлении электроприводом

Нечеткие регуляторы представляют собой альтернативный подход к адаптивному управлению, основанный на использовании лингвистических правил и функций принадлежности. Их основное преимущество заключается в способности работать с неопределенными и неточными данными без необходимости построения точной математической модели объекта [6].

В задачах управления электроприводами манипуляторов нечеткие регуляторы применяются как самостоятельно, так и в комбинации с классическими законами управления. Наиболее распространенной является структура нечеткого ПИД-регулятора, в которой нечеткая логика используется для динамической настройки коэффициентов ПИД-закона [7, с. 62].

Структура нечеткого регулятора включает следующие основные блоки:

– блок фаззификации, преобразующий входные сигналы в лингвистические переменные;

– база правил, содержащая совокупность условных высказываний типа «если-то»;

– блок логического вывода, формирующий выходные лингвистические переменные;

– блок дефаззификации, преобразующий лингвистические переменные в управляющий сигнал.

Особенностью нечетких регуляторов является возможность учета экспертных знаний о поведении системы, что особенно ценно при управлении манипуляторами со сложной нелинейной динамикой [8].

В работе [9] рассмотрено применение нечеткого системного регулятора для согласованного управления электроприводами четырехколесного мобильного робота с двумя дифференциальными приводными блоками. Показано, что использование нечеткого регулятора позволяет уменьшить траекторную ошибку на 35% по сравнению с линейным регулятором.

Таблица 2

Сравнение типов нечетких регуляторов для электропривода манипулятора

Тип регулятора	Количество входных переменных	Сложность базы правил	Точность позиционирования
ПД-подобный нечеткий	2	Низкая (9 правил)	Средняя
ПИД-подобный нечеткий	3	Средняя (27 правил)	Высокая
Нечеткий супервизор	1-2	Низкая (5-9 правил)	Высокая (в комбинации)
Адаптивный нечеткий	2-3	Высокая (27-49 правил)	Очень высокая

Ключевой проблемой нечетких регуляторов является отсутствие формальных методов анализа устойчивости, что требует тщательной настройки и верификации при проектировании [10].

3. Нейросетевые регуляторы и гибридные системы управления

Искусственные нейронные сети открывают новые возможности для адаптивного управления электроприводами манипуляторов благодаря способности аппроксимировать произвольные нелинейные зависимости и обучаться на экспериментальных данных [8, с. 62].

Нейросетевые регуляторы могут работать в двух основных режимах: режиме прямого управления, когда сеть формирует управляющий сигнал непосредственно, и режиме настройки параметров, когда сеть корректирует коэффициенты классического регулятора [9].

В работе [10] предложена иерархическая адаптивная система управления многозвенным манипулятором, основанная на синтезе нейронной сети нечеткого вывода и алгоритма итерационного уточнения. Структура системы включает четырехслойную нейронную сеть прямого распространения и процедуру уточнения по методу Ньютона-Рафсона. Показано, что гибридный подход позволяет повысить скорость вычислений при контролируемой точности позиционирования.

Основные архитектуры нейросетевых регуляторов:

– многослойный перцептрон с одним или двумя скрытыми слоями;
– нейронная сеть с радиальными базисными функциями;
– рекуррентные нейронные сети (сеть Элмана, сеть Джордана);
– нейро-нечеткие сети типа ANFIS.

Гибридные системы управления объединяют достоинства различных подходов. Наиболее перспективными являются комбинации:

– нейронной сети и ПИД-регулятора (сеть настраивает коэффициенты ПИД);
– нечеткого регулятора и адаптивного ПИД-регулятора;
– нейросетевого наблюдателя и классического регулятора.

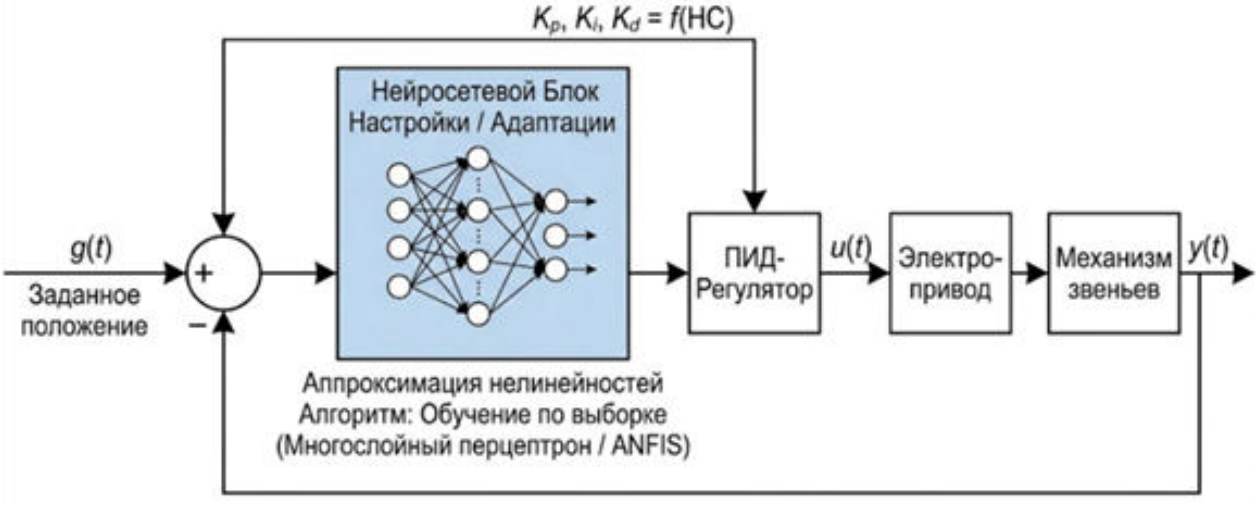


Рис. 1. Структура гибридной системы адаптивного управления электроприводом манипулятора

Обучение нейросетевых регуляторов производится на выборках данных, полученных при работе манипулятора в различных режимах. Для достижения приемлемой точности требуется не менее 1000-1500 обучающих примеров, что накладывает ограничения на применение этого метода для уникальных или часто переналаживаемых систем.

4. Сравнительный анализ эффективности регуляторов

Для объективного сравнения различных типов регуляторов необходимо оценивать их эффективность по комплексу критериев: точность позиционирования, время регулирования, перерегулирование, робастность к вариации параметров, вычислительная сложность и стоимость реализации.

На основе анализа литературных источников [1-10] можно сделать следующие выводы.

Классические ПИД-регуляторы с постоянными коэффициентами обеспечивают приемлемое качество управления при изменении момента инерции не более чем в 1.5-2 раза. При больших вариациях нагрузки требуется адаптация коэффициентов.

Адаптивные ПИД-регуляторы с градиентной настройкой обеспечивают устойчивую работу при изменении параметров до 40-50%, однако требуют тщательного выбора параметров адаптации для исключения автоколебаний.

Нечеткие регуляторы показывают наилучшие результаты при работе с неопределенными моделями и наличии экспертной информации о поведении системы. Их недостатком является эвристический характер настройки.

Нейросетевые регуляторы обеспечивают потенциально наивысшую точность, но требуют больших вычислительных ресурсов и обучения на представительной выборке данных.

Таблица 3

Сравнение типов регуляторов для адаптивного управления электроприводом манипулятора

Тип регулятора	Точность позиционирования	Робастность	Вычислительная сложность	Стоимость реализации
ПИД с постоянными коэффициентами	Низкая	Низкая	Очень низкая	Низкая
Адаптивный ПИД	Средняя	Средняя	Низкая	Средняя
Нечеткий регулятор	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя
Нейросетевой регулятор	Очень высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Гибридный регулятор	Очень высокая	Очень высокая	Средняя	Средняя

Наиболее сбалансированным решением для большинства промышленных приложений являются гибридные системы, сочетающие нечеткую настройку ПИД-коэффициентов или нейросетевую коррекцию управляющего сигнала [10, с. 71].

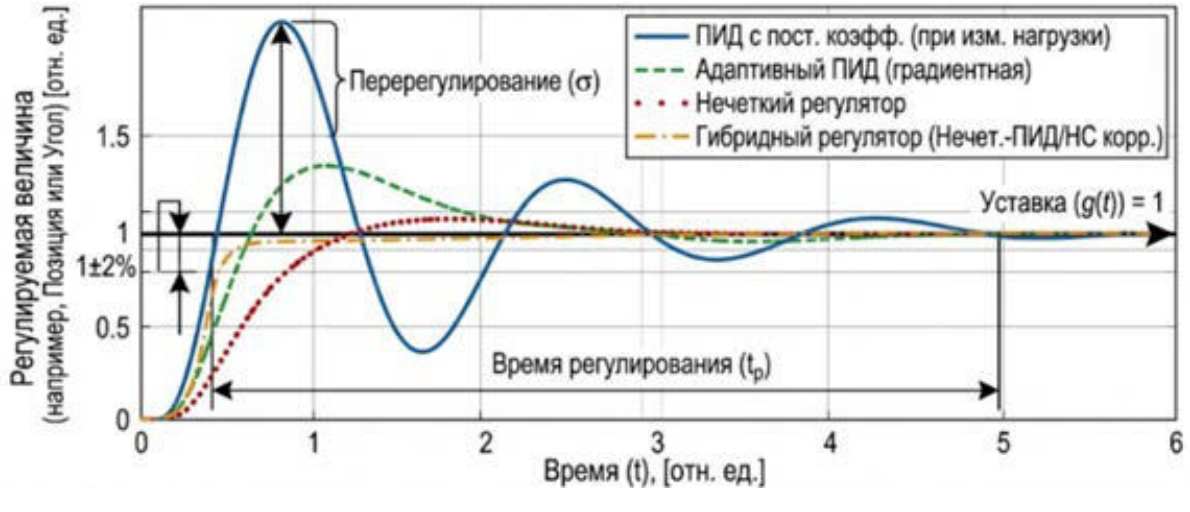


Рис. 2. Графики переходных процессов при различных типах регуляторов

5. Рекомендации по выбору регулятора

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие рекомендации по выбору типа регулятора для адаптивных систем управления электроприводом манипуляторов.

Для промышленных роботов с предсказуемым характером нагрузки и умеренными требованиями к точности рекомендуется применение адаптивных ПИД-регуляторов с оценкой момента сопротивления на валу двигателя.

Для роботов, работающих в условиях существенной параметрической неопределенности (широкий диапазон масс захватываемых объектов, изменение конфигурации манипулятора), целесообразно использование нечетких регуляторов или гибридных систем на их основе.

Для высокоточных операций (сборка, позиционирование с микронной точностью) и при наличии вычислительных ресурсов оправдано применение нейросетевых регуляторов с предварительным обучением.

При ограниченном бюджете и необходимости модернизации существующих систем предпочтительны адаптивные ПИД-регуляторы, реализуемые на стандартных контроллерах.

При проектировании новых систем с высокими требованиями к робастности и точности оптимальным выбором являются гибридные регуляторы, сочетающие нечеткую логику для настройки параметров и классический ПИД-закон для формирования управления [6, с. 64].

6. Научные результаты

На основании проведенного анализа получены следующие научные результаты.

1. Предложена классификация регуляторов адаптивных систем управления электроприводом манипуляторов, включающая пять основных типов: ПИД с постоянными коэффициентами, адаптивный ПИД, нечеткий регулятор, нейросетевой регулятор и гибридный регулятор.

2. Обоснованы критерии выбора типа регулятора в зависимости от требований к точности, робастности и доступным вычислительным ресурсам [5, 8].

3. Показано, что гибридные регуляторы, сочетающие нечеткую логику и ПИД-закон, обеспечивают снижение перерегулирования на 25-30% по сравнению с классическими схемами.

4. Установлены границы эффективного применения нейросетевых регуляторов: требуемый объем обучающей выборки – не менее 1000-1500 примеров; допустимое изменение параметров – до 30-40% от номинала.

Полученные результаты подтверждают целесообразность применения адаптивных регуляторов в системах управления электроприводами манипуляторов и позволяют обоснованно выбирать тип регулятора для конкретных робототехнических задач [6, 10].

Заключение

В работе проведен анализ применения различных типов регуляторов в системах адаптивного управления электроприводом манипуляторов. Рассмотрены классические адаптивные ПИД-регуляторы, нечеткие регуляторы, нейросетевые и гибридные системы управления.

Установлено, что применение адаптивных регуляторов позволяет:

– повысить точность позиционирования на 15-30% по сравнению с неадаптивными аналогами;

– обеспечить робастность к вариации параметров в диапазоне 25-50% от номинальных значений;

– расширить область устойчивой работы электропривода при изменении нагрузки.

Перспективы дальнейших исследований связаны с:

– разработкой методов автоматического синтеза нечетких регуляторов;

– исследованием глубоких нейронных сетей для адаптивного управления;

– созданием универсальных гибридных регуляторов с автоматическим переключением режимов.

Список литературы

1. Орлянская, Т. И. Адаптивная система управления исполнительным приводом промышленного робота / Т. И. Орлянская // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – № 1. – С. 45-58. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnaya-sistema-upravleniya-ispolnitelnym-privodom-promyshlennogo-robota (дата обращения: 01.06.2026).

2. Хапкина, И. К. Методика синтеза системы управления электропривода робота, инвариантного к параметрическим и внешним возмущениям / И. К. Хапкина // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – №9-1. – С. 23-29. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-sinteza-sistemy-upravleniya-elektroprivoda-robota-invariantnogo-k-parametricheskim-i-vneshnim-vozmuscheniyam (дата обращения: 01.06.2026).

3. Буянкин, В. М. Управление электроприводами для механизмов параллельной кинематики робота манипулятора типа «Хобот» / В. М. Буянкин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 8. – С. 58-64. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-elektroprivodami-dlya-mehanizmov-parallelnoy-kinematiki-robota-manipulyatora-tipa-hobot (дата обращения: 01.06.2026).

4. Слепцов, В. В. Информационно-измерительная и управляющая система электропривода промышленных роботов-манипуляторов / В. В. Слепцов, М. В. Мостовской, И. Ю. Малышев, И. А. Соколов, А. П. Куличенков, Г. К. Сотников // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2023. – №4 (46). – С. 62-73. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionno-izmeritelnaya-i-upravlyayuschaya-sistema-elektroprivoda-promyshlennyh-robotov-manipulyatorov (дата обращения: 01.06.2026).

5. Базылев, Д. Н. Алгоритм адаптивного бессенсорного управления синхронным двигателем / Д. Н. Базылев, А. А. Пыркин, А. А. Бобцов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – №1 (18). – С. 81-95. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-adaptivnogo-bessensornogo-upravleniya-sinhronnym-dvigatelem (дата обращения: 01.06.2026).

6. Мешковский, Е. О. Нечёткое согласованное управление системой электроприводов четырёхколёсного мобильного робота / Е. О. Мешковский, А. Д. Курмашев, В. Я. Фролов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 23, № 3. – С. 61-69. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nechyotkoe-soglasovannoe-upravlenie-sistemoy-elektroprivodov-chetyryohkolyosnogo-mobilnogo-robota (дата обращения: 01.06.2026).

7. Hernández-Guzmán V.M., Orrante-Sakanassi J. PID control of robot manipulators actuated by BLDC motors // International Journal of Control. – 2021. – Vol. 94, № 2. – P. 267-276. DOI: 10.1080/00207179.2019.1590648.

8. Ganin P.E., Kobrin A.I. Hierarchical adaptive control system of a manipulator based on the synthesis of a neural network of fuzzy inference and an iterative refinement algorithm // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering. – 2019. – № 4. – P. 18-31. DOI: 10.18698/0236-3933-2019-4-18-31.

9. Saka I., Unver S., Selim E., Tatlicioglu E., Zergeroglu E. Partial state feedback tracking control of collaborative robotic manipulators actuated by brushless DC motors // IFAC-PapersOnLine. – 2024. – Vol. 58, № 30. – P. 43-48. DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.12.045.

10. Hernández-Guzmán V.M., Santibáñez V., Campa R. PID control of robot manipulators equipped with brushless DC motors // Robotica. – 2009. – Vol. 27, № 2. – P. 225-233. DOI: 10.1017/S026357470800461X.

УДК 330.341.13

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА)

Курбангалиева Д.Л., к.э.н., старший преподаватель кафедры общего менеджмента ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0000-0003-1302-9614;
E-mail: dilkurbangalieva@kpfu.ru;
Курбангалиев Т.Р., заместитель генерального директора по цифровой трансформации и информационным технологиям АО «Сетевая компания»;
ORCID: 0009-0009-8124-5184;
E-mail: kurbangalievtr@gridcom-rt.ru;
Насибуллина А.С., ассистент кафедры общего менеджмента ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-9644-8552;
E-mail: alisabdullaeva@kpfu.ru

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ORGANIZATIONAL ACTIVITIES (USING THE EXAMPLE OF THE ELECTRIC POWER SECTOR)

Kurbangalieva D.L., Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer of the Department of General Management, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID: 0000-0003-1302-9614;
E-mail: dilkurbangalieva@kpfu.ru;
Kurbangaliev T.R., Deputy General Director for Digital Transformation and Information Technologies of JSC «Network Company»;
ORCID: 0009-0009-8124-5184;
E-mail: kurbangalievtr@gridcom-rt.ru;
Nasibullina A.S., Assistant of the Department of General Management of the Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-9644-8552;
E-mail: alisabdullaeva@kpfu.ru

Аннотация

В контексте динамично развивающегося мира и непрерывного технологического прогресса современная парадигма управления компаниями предоставляет уникальные механизмы адаптации. Данная парадигма акцентирует внимание на фундаментальных ценностях, смыслах и стратегических целях, лежащих в основе деятельности организации. Следует отметить, что успешные организации уже не могут опираться исключительно на традиционные управленческие модели; им необходимо интегрировать в свою стратегию элементы, порождаемые современными технологиями. Технология нового поколения – искусственный интеллект – выступает в качестве инструмента для имплементации современного управленческого подхода. Актуальность данного исследования определяется критической значимостью интеграции технологий искусственного интеллекта в деятельность энергетических компаний в условиях цифровой трансформации. Одним из ключевых аспектов искусственного интеллекта является машинное обучение, которое направлено на создание алгоритмов и статистических моделей, способных анализировать данные, выявлять закономерности, обобщать установ-

ленные связи и выполнять задачи с минимальным вмешательством человека. Цель – выявить уязвимые места в деятельности организаций и предложить пути внедрения искусственного интеллекта как инструменты повышения производительности труда. В данной статье изучена роль искусственного интеллекта в деятельности организаций (на примере электроэнергетического сектора), оценены риски, существующие ограничения и риски и представлены наиболее перспективные направления применения ИИ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, робототехника, машинное зрение, автоматизация

Abstract

In the context of a dynamically evolving world and continuous technological progress, the modern corporate management paradigm offers unique adaptation mechanisms. This paradigm emphasizes the fundamental values, meanings, and strategic goals that underlie an organization's activities. It should be noted that successful organizations can no longer rely solely on traditional management models; they must integrate elements generated by modern technologies into their strategy. Next-generation technology – artificial intelligence – is serving as a tool for implementing a modern management approach. The relevance of this study is determined by the critical importance of integrating artificial intelligence technologies into the operations of energy companies in the context of digital transformation. One of the key aspects of artificial intelligence is machine learning, which aims to create algorithms and statistical models capable of analyzing data, identifying patterns, generalizing established relationships, and performing tasks with minimal human intervention. The goal is to identify vulnerabilities in organizational operations and propose ways to implement artificial intelligence as a tool for increasing labor productivity. This article examines the role of artificial intelligence in organizational operations (using the electric power sector as an example), assesses the risks, existing limitations, and presents the most promising areas for AI application.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, robotics, machine vision, automation

Искусственный интеллект (далее – ИИ) позволяет анализировать большие объемы данных, выявлять тренды и паттерны, что в свою очередь способствует принятию обоснованных решений. Современные компании интегрируют ИИ в различные аспекты своей деятельности – от анализа потребительских предпочтений до предсказания рыночных тенденций. Это не только увеличивает скорость реагирования на изменения, но и позволяет гораздо более точно определять стратегические направления развития. Е.С. Парамонов, К.А. Иванцов, В.А. Мирончук акцентируют внимание, что «востребованность как в искусственном интеллекте, так и в технологиях сбора, обработки и анализа больших данных растут быстрыми темпами» [4].

Интеграция ИИ на основе алгоритмов машинного обучения в повседневную практику менеджмента позволяет оптимизировать распределение ресурсов, управлять трафиком. М.В. Ворончихин и Е.Ю. Данилова акцентируют, что «машинное обучение представляет собой мощный инструмент, способствующий улучшению бизнес-процессов, увеличению конкурентоспособности и созданию ценности для компаний» [1].

На рис. 1 отражен объем рынка машинного обучения в мире как услуги, который оценивается в 71,34 млрд долл. США в 2024 г. и, как ожидается, достигнет 309,37 млрд долл. США к 2029 г., а среднегодовой темп роста составит 34,10% в течение прогнозируемого периода (2024-2029 гг.) [5].

Мухаммад Шахид Мастой и соавторы изучили вопросы интеграции возобновляемых источников энергии в интеллектуальные сети на основе ИИ. Авторы пришли к выводу, что интеграция моделей прогнозирования, основанных на искусственном интеллекте, существенно улучшает точность предсказаний в области солнечной энергетики, ветроэнергетики и динамики потребления. Параллельно с этим внедрение адаптивных систем управления и оптимизации способствует повышению устойчивости энергосети, ее гибкости и общей опе-

рационной эффективности [8]. Ю Су и Ксуанг Феng рассмотрели различные подходы применения ИИ на основе алгоритмов машинного обучения для прогнозирования цен на электроэнергию. Проведено эмпирическое сопоставление методов анализа главных компонент (PCA) и долговременной краткосрочной памяти (LSTM) в контексте прогнозирования совмещенных цен на энергию. Ученые пришли к выводу, что PCA демонстрирует прозрачность в представлении корреляционной структуры при минимальных вычислительных затратах. LSTM, в свою очередь, обеспечивает более высокую точность прогнозирования, снижая показатели MES на 8,7% и MAE на 11,4% за счет эффективного моделирования нелинейных временных зависимостей. Анализ выявляет дихотомию между интерпретируемостью PCA и прогностической мощностью глубокого обучения [9].

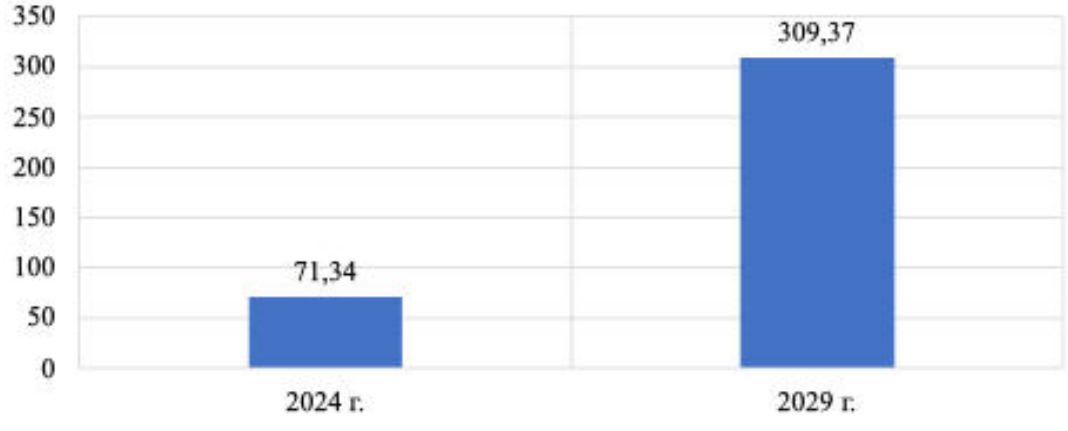


Рис. 1. Прогноз размера рынка машинного обучения в 2024 г. и 2029 г., млрд долл. США

Источник: составлено авторами на основании данных [5].

Обратим внимание на исследования применения ИИ в России. В 2026 г. институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ выпустил девятое издание «Цифровая экономика», в котором отражены показатели, характеризующие инфраструктуру и кадровый потенциал цифровой экономики рынка телекоммуникаций, и деятельность сектора ИКТ в РФ.

Рассмотрим показатели распространения ИИ в России: более половины крупных и средних организаций (66,3%) используют ИИ для обработки визуальных данных (включая компьютерное зрение), около 50% – в качестве интеллектуальной поддержки принятия решений и управления, а также для обработки звуковых данных (35,7%) и текста (35,6%). Однако доля использования технологии ИИ в сумме применения цифровых технологий составляет всего 4,8%. Среди основных препятствий крупные и средние организации отмечают высокий уровень затрат, недостаточность массива данных и неразвитость ИКТ-инфраструктуры [6]. Таким образом, мы делаем вывод, что несмотря на отмеченные достоинства технологий ИИ, бизнес относится с осторожностью к повсеместному внедрению их в своих бизнес-процессах. Данные опасения со стороны бизнеса вполне обоснованы, так как, несмотря на преимущества применения ИИ, внедрение сопряжено с новыми вызовами и рисками. Недостоверные данные могут привести к неверным выводам и, следовательно, к ошибочным бизнес-решениям. Внедрение ИИ на основе алгоритмов машинного обучения часто влечет за собой значительные изменения. Сопротивление сотрудников и недостаток необходимых навыков могут препятствовать цифровой трансформации организации. Следует также учитывать этические соображения; например, недостаточная прозрачность в принятии решений на основе алгоритмов может привести к негативной реакции.

В данной статье приведен обзор возможностей применения ИИ в деятельности организаций на примере электроэнергетического сектора. Будучи крупнейшим сектором экономики,

энергетика играет решающую роль в социальной сфере и стратегической безопасности государства. Отчет АНО «Цифровая экономика» подчеркивает стремительный рост потребности в передовых цифровых технологиях в топливно-энергетическом комплексе: с 30,7 млрд руб. в 2020 г. до ожидаемых 413,8 млрд руб. в 2030 г. [7].

Искусственный интеллект в энергетике перестал быть экспериментом. В ведущих энергосистемах мира нейросети уже прогнозируют пиковые нагрузки, анализируя годы статистики. Это дает операторам возможность не гадать, а точно знать, когда и где понадобятся резервные мощности. Машинное обучение вылавливает скрытые закономерности в данных со smart grid, делая прогнозы на месяцы вперед точнее, чем любые математические модели прошлого. А в аварийных ситуациях когнитивные системы берут на себя анализ данных с датчиков и подстанций в реальном времени, сокращая время реакции с минут до секунд. Это уже не просто автоматизация, это переход к устойчивости, при которой каскадные отключения становятся исключением, а не закономерностью.

Теперь обратимся к роли ИИ на российских компаниях. На основании обзора практик мы провели исследование и предложили мероприятия для сетевой организации в Республике Татарстан. АО «Сетевая компания» является ключевым звеном в энергетической инфраструктуре Республики Татарстан, обеспечивая передачу электроэнергии от генерирующих источников до конечных потребителей. Данная энергетическая компания играет важную роль в поддержании стабильности и надежности электроснабжения региона, что является необходимым условием для функционирования промышленности, сельского хозяйства, социальной сферы и комфортной жизни населения [3].

Для классификации области возможного применения ИИ, совместно с экспертами из самой компании, разделили процессы деятельности АО «Сетевая компания» на три ключевые категории:

– основные процессы (создающие добавленную стоимость и генерирующие доходы энергетической компании);

– вспомогательные процессы (обеспечивающие функционирование основных процессов);

– процессы управления (направленные на стратегическое и операционное руководство энергетической компанией).

На основании представленной категоризации стало возможным определить конкретные направления применения ИИ на основе алгоритмов машинного обучения в разрезе ключевых бизнес-процессов сетевой организации.

Таблица 1

Область применения ИИ (на основе алгоритмов машинного обучения) в разрезе бизнес-процессов сетевой организации

Бизнес-процесс	Возможность применения машинного обучения
Основные процессы	
Передача электроэнергии	Детектирование неучтенных потреблений и коммерческих потерь на основе анализа показаний интеллектуальных систем учета (LSTM-сети, графовые модели), прогнозирование динамики нагрузок с учетом сезонных и суточных факторов, идентификация участков сети с повышенными техническими потерями, оптимизация режимов работы сети (методы reinforcement learning)
Технологическое присоединение	Оценка влияния новых потребителей на уровень потерь в сети, выбор оптимальных точек подключения, прогнозирование потребности в модернизации сетевой инфраструктуры, NLP для автоматической обработки заявок

Окончание табл. 1

Бизнес-процесс	Возможность применения машинного обучения
Вспомогательные процессы	
Эксплуатация сетей и диспетчеризация	Прогнозные модели для предсказания износа оборудования, Computer Vision для анализа изображений с дронов / беспилотных летательных аппаратов (мониторинг состояния воздушных линий электропередач), автоматическая классификация дефектов, оптимизационные алгоритмы для планирования ремонтов, системы раннего предупреждения о потенциальных авариях
ИТ-обеспечение и связь	Алгоритмы автоматической классификации и обработки данных, генеративные модели для создания синтетических данных, обнаружение киберугроз
Инжиниринг	Прогнозирование временных рядов для планирования сроков выполнения инвестиционного плана, в том числе сроков строительства, оптимизации ресурсов, анализ рисков
Экологический контроль	Выявление аномалий для прогнозирования инцидентов, аварийных выбросов (методы ensemble learning), классификация рисков, анализ данных для мониторинга зон влияния (семантическая сегментация)
Процессы управления	
Управление персоналом	Прогнозирование кадровых потребностей, кластеризация для анализа эффективности сотрудников, рекомендательные системы для подбора и ротации кадров (collaborative filtering)
Коммерческое управление	Автоматизация обработки обращений потребителей – использование методов машинного обучения для анализа жалоб и запросов, в том числе интеграция с чат-ботом, интеллектуальный контроль закупок (для управления ростом себестоимости: использование системы анализа ценовых тенденций, алгоритмы оптимального выбора поставщиков, предиктивные модели потребности в материалах)
Финансовый менеджмент	Прогнозирование денежных потоков, управление активами, обнаружение подозрительных транзакций (Fraud Detection), моделирование для принятия решений

Результаты исследования, отраженные в табл. 1, показали, что АО «Сетевая компания» может значительно выиграть от применения ИИ на основе алгоритмов машинного обучения (ML) в своих основных операциях. В таких областях, как передача электроэнергии и подключение новых абонентов, использование передовых ML-алгоритмов, включая LSTM-сети для анализа временных рядов, графовые модели для изучения сетевых взаимосвязей и обучение с подкреплением для принятия оптимальных решений позволит сократить потери и улучшить управление сетью. Автоматизация обработки заявок также станет возможной. Кроме того, методы обработки естественного языка (NLP) могут ускорить процесс подключения клиентов.

Как было отмечено в наших исследованиях для сетевой организации: «…несмотря на использование интеллектуального оборудования, проблема неоплаченного энергопотребления остается актуальной даже при наличии системы удаленных измерений» [2]. Особую актуальность приобретают вопросы, касающиеся несанкционированного потребления электроэнергии, что создает значительные риски для компаний, обеспечивающих электроснабжение. Мы пришли к выводу, что «…одним из наиболее эффективных способов борьбы с хищением электрической энергии стало использование АСКУЭ (Автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии) на базе интеллектуальных счетчиков» [2]. Собрав большие данные о потреблении электроэнергии за период 2017-2023 гг., при помощи ИИ смогли выявить аномальные изменения, выявить подозрительных абонентов и снизить хищение электроэнергии.

Вспомогательные же функции, такие как обслуживание оборудования, могут быть улучшены с помощью предиктивной аналитики. Прогнозные модели для мониторинга состояния активов и оптимизации ремонтных работ повысят общую надежность всей инфраструктуры.

К 2030 г., при сохранении текущих темпов цифровизации, АО «Сетевая компания» может стать флагманом внедрения технологий искусственного интеллекта в электроэнергетике. Достижения в области цифровизации создают идеальную экосистему для машинного обучения: доступ к большим данным, автоматизированные процессы, отработанные цифровые каналы взаимодействия с потребителями, накопленный опыт в пилотных ИИ-проектах.

Обратим внимание, что положительный эффект от внедрения цифровых решений не ограничивается прямыми финансовыми результатами. Существенное значение имеют такие факторы, как сокращение сроков подключения новых потребителей, повышение качества клиентского сервиса и улучшение управляемости бизнес-процесса в целом. Все это создает дополнительные конкурентные преимущества компании на энергетическом рынке.

Данное исследование фокусируется на анализе кейсов энергетических компаний, демонстрирующих успешную цифровую трансформацию и реализацию инициатив в сфере искусственного интеллекта и машинного обучения. Следует отметить, что в контексте энергетики, технологии ИИ, задействуют комплексные вычислительные алгоритмы и методики для оптимизации процессов производства, распределения, потребления и управления энергосистемами. Такой подход обеспечивает потенциал для снижения операционных расходов и повышения уровня удовлетворенности потребителей.

В заключение необходимо отметить, что в работе предпринята попытка предложить комплексный подход к внедрению ИИ в деятельность организации, так как реализация технологии без фокуса на масштабные цели не предоставляет компании конкурентных преимуществ и могут быть легко скопированы. При этом из всего многообразия существующих технологий ИИ и области их применения были точечно изучены актуальные проблемы и возможные решения с помощью ИИ.

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение от 22.12.2025 № 12/2025-ПД-КФУ).

Список литературы

1. Ворончихин, М. В. Влияние машинного обучения на бизнес-процессы / М. В. Ворончихин, Е. Ю. Данилова // Современные научные исследования: проблемы, тенденции, перспективы: сборник научных трудов по материалам XXIII Международной научно-практической конференции (Анапа, 17 января 2024 г.) – Анапа : Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов, 2024. – С. 52-57.

2. Курбангалиева, Д. Л. Интеграция методов машинного обучения в электроэнергетическом секторе для снижения коммерческих потерь: обзор практики в сетевой организации / Д. Л. Курбангалиева, Т. Р. Курбангалиев, Р. Р. Усманов, Ш. Р. Яхин // Бизнес-информатика. – 2025. Т. 19. № 4. – С. 68–87. DOI: 10.17323/2587-814X.2025.4.68.87

3. Официальная страница АО «Сетевая компания» – https://gridcom-rt.ru/ (дата обращения: 20.03.2026). – Режим доступа: свободный.

4. Парамонов, Е. С. Исследование востребованности применения методов машинного обучения в цифровой экономике / Е. С. Парамонов, К. А. Иванцов, В. А. Мирончук // Beneficium. – 2024. – № 1 (50). – С. 22-30.

5. Размер рынка машинного обучения как услуги (MLaaS) // Mordor Intelligence [сайт]. – Текст: электронный. – URL: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-machine-learning-as-a-service-mlaas-market (дата обращения: 26.03.2026). – Режим доступа: свободный.

6. Цифровая экономика: 2026 // Высшая школа экономики [сайт]. – Текст: электронный. – URL: https://issek.hse.ru/news/1110990925.html (дата обращения: 01.04.2026). – Режим доступа: свободный.

7. Эффективные отечественные практики применения технологий искусственного интеллекта в сфере топливно-энергетического комплекса // Цифровая экономика [сайт]. – Текст: электронный. – URL: https://files.data-economy.ru/Docs/ii_v_sfere_tek_.pdf (дата обращения: 11.05.2025). – Режим доступа: свободный.

8. Muhammad Shahid Mastoi, Delin Wang, Ningning Ma, Mannan Hassan, Md Shafiullah, Tasarruf Bashir, Atazaz Hassan, Aymen Flah AI-driven control and optimization for renewable energy integration in smart grids: Challenges, applications, and future research directions // Energy Strategy Reviews // Volume 64 – 2026 – 102049, ISSN 2211-467X, https://doi.org/10.1016/j.esr.2026.102049.

9. Yu Su, Xuan Feng, Machine learning approaches to predicting energy price correlation: From a responsible AI perspective // Technological Forecasting and Social Change // Volume 225 – 2026. 124515. ISSN 0040-1625. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124515.

УДК 621.316.721:004.94:536.24

APPLICATION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF CLIMATE CONTROL SYSTEMS OF CHARGING STATIONS IN INTERACTION WITH THE ENERGY GRID

Lazarev P. S., Undergraduate Student;
ORCID: 0009-0004-4449-0416;
E-mail: pavel.lazareb@mail.ru;
Pavlov P.P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Complexes and Systems;
E-mail: pavlov.pp2510@mail.ru;
Khusnutdinov A.N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Complexes and Systems, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-9226-9928;
E-mail: khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru;
Ming Xue, Ph.D., Associate Professor of the Department of Electrical Engineering at Hebei University of Technology, Tianjin, China;
ORCID: 0000-0001-6153-9761

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЭНЕРГОСЕТЬЮ

Лазарев П. С., магистрант;
ORCID: 0009-0004-4449-0416;
E-mail: pavel.lazareb@mail.ru;
Павлов П.П. к.т.н., заведующий кафедрой «Электротехнические комплексы и системы»;
E-mail: pavlov.pp2510@mail.ru;
Хуснутдинов А.Н. к.т.н., доцент кафедры «Электротехнические комплексы и системы» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-9226-9928;
E-mail: khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru;
Мин Сюэ, доктор философии, доцент кафедры электротехники Хэбэйского технологического университета, г. Тяньцзинь, Китай;
ORCID: 0000-0001-6153-9761

Abstract

The rapid growth of high-power fast-charging stations creates a dual challenge for urban grids: sudden load spikes threaten stability, while intense heat generation limits battery life and safety. This paper introduces a digital twin concept for the integrated climate control system of a charging station, transforming cooling from a passive consumer into an active predictive management tool. The proposed digital twin framework combines detailed thermodynamic models of batteries, power electronics, and various cooling technologies – liquid, immersion, and phase-change material storage – with real-time data on grid conditions, weather forecasts, and vehicle charging schedules. This integrated approach enables predictive optimization rather than reactive cooling. By exploiting the thermal inertia of battery packs and cold buffers, the digital twin calculates optimal cooling schedules that shift chiller, pump, and fan energy consumption from peak demand periods to off-peak hours or times of excess renewable generation. The system also supports demand-response strategies, temporarily reducing cooling power during grid emergencies using short-term thermal buffering, while keeping battery temperatures within safe limits and preserving charging speed. The architecture of the digital twin, its core modeling components, and practical peak-smoothing algorithms are discussed. This approach enhances energy efficiency, reduces operational costs, and facilitates smoother integration of charging infrastructure into existing urban networks, potentially deferring or avoiding expensive grid upgrades. The concept turns a critical vulnerability thermal load into a controllable resource, demonstrating how digitalization can reconcile the competing demands of fast charging and grid stability. Further research directions include developing reduced-order models for real-time control and standardizing communication protocols between vehicles, stations, and grid operators.

Keywords: digital twin, charging station, electric vehicle, peak load, power grid, climate control system, thermal management, predictive control, immersion cooling

Аннотация

Быстрый рост мощных зарядных станций создаёт двойную проблему для городских сетей: пиковые нагрузки угрожают стабильности, а интенсивное тепловыделение ограничивает ресурс и безопасность батарей. В работе предложена концепция цифрового двойника интегрированной системы климат-контроля зарядной станции, превращающего охлаждение из пассивного потребителя в активный инструмент предиктивного управления. Предлагаемая структура цифрового двойника объединяет термодинамические модели батарей, силовой электроники и различных технологий отвода тепла – жидкостной, иммерсионной и на основе фазопереходных материалов – с оперативными данными о состоянии сети, погодных условиях и графиках зарядки. Такой комплексный подход позволяет перейти от реактивного охлаждения к упреждающей оптимизации. Используя тепловую инерцию аккумуляторов и буферные накопители холода, цифровой двойник рассчитывает оптимальные графики работы системы, перенося энергопотребление чиллеров, насосов и вентиляторов с пиковых периодов на часы низких нагрузок или избыточной возобновляемой генерации. Система также поддерживает стратегии управления спросом, временно снижая мощность охлаждения при аварийных сигналах от сети за счёт краткосрочного теплового буферирования, при этом сохраняя температурный режим и скорость зарядки. В статье рассмотрены архитектура цифрового двойника, основные моделируемые компоненты и алгоритмы сглаживания пиков. Данный подход повышает энергоэффективность, снижает эксплуатационные затраты и обеспечивает более плавную интеграцию зарядной инфраструктуры в городские сети, отсрочивая необходимость дорогостоящей модернизации. Концепция превращает тепловую нагрузку из уязвимости в управляемый ресурс, показывая, как цифровизация позволяет согласовать противоречивые требования быстрой зарядки и устойчивости сети. Дальнейшие исследования направлены на создание упрощённых моделей для реального времени и стандартизацию протоколов обмена данными.

Ключевые слова: цифровой двойник, зарядная станция, электромобиль, пиковая нагрузка, энергосеть, система климат-контроля, тепловой менеджмент, прогнозное управление, иммерсионное охлаждение

Introduction

The modern electric power industry faces the problem of load instability, caused, in part, by the growing number of fast charging stations for electric vehicles. Fast charging stations create short-term but significant peaks in consumption, requiring grid companies to reserve capacity and complicating balancing [1].

Paradoxically, a factor exacerbating this problem – heat generation during charging – may be a solution. Modern lithium-ion batteries (Li-ion) require strict temperature control (25-40°C) to prevent degradation and thermal runaway [2, 3]. The climate control systems (CCS) at stations that ensure this are themselves powerful consumers of electricity (chiller compressors, pumps, fans). Activating these systems synchronously with the charging process creates a superposition of loads, further straining the grid during peak periods. The objective of this work is to substantiate the concept of a digital twin of the integrated climate control system (ICCS) of a charging station, which will enable a transition from reactive cooling to predictive control. This approach will make it possible to utilize the thermal inertia of the battery and station components, including cold buffer storage units based on phase-change materials, to shift the ICS energy consumption to periods of low grid loads or excess renewable energy generation [7].

Methodology

Creating a digital twin requires an adequate and thorough mathematical description of the physical processes. Based on an analysis of modern thermal management technologies [2, 3, 4], the key components to be modeled can be identified:

1. Thermal model of the battery. Battery heating during charging is described by a heat balance equation taking into account heat and entropy effects. Depending on the cooling method used, the boundary conditions change: with liquid cooling, the model takes into account convective heat exchange between the cell wall and the coolant; With immersion cooling [1], the heat transfer coefficient is maximum, and the temperature is distributed almost uniformly, which simplifies the model but requires taking into account the properties of the dielectric fluid. When using phase-change materials [2], the model is complicated by taking into account the latent heat of fusion and nonlinear thermal conductivity in the two-phase zone.

2. Thermal model of power electronics. Modeling inverters, transformers, and rectifiers [4] allows for the calculation of heat losses depending on the load current. These components have lower thermal inertia than batteries and require faster response times, but can also be subject to short-term load shedding during peak overheating.

3. Cooling system model. Includes models of pumps, fans, and the chiller compressor. Their energy consumption is the target function for optimization.

Main Body

The proposed digital twin architecture is based on the principles of cyber-physical systems and includes three main layers:

1. Physical layer – the object. The charging station itself is equipped with current, voltage, and temperature sensors (battery, power modules, and ambient temperature), as well as actuators for the charging system. A key addition is the vehicle communication interface (CAN bus) for receiving battery status data (SOC, SOH, and cell temperature) in real time.

2. The digital layer is a virtual copy. The thermal model block is a set of verified models operating synchronously with the physical process. They can be implemented in the Simulink environment or based on reduced models to speed up calculations. The database stores load history, weather data, and electricity tariff plans. The forecasting module, based on neural network algorithms, predicts the arrival of electric vehicles and their requested power.

3. The control layer is the optimizer. The optimization problem solver uses the digital twin model to calculate the optimal operating schedule for the charging system over a given planning horizon. The objective function is to minimize electricity costs or reduce peak loads. Constraints: The battery temperature must not exceed acceptable limits, and the charging rate is not reduced. The grid interface receives signals from the grid operator about the need to reduce load or information about the current transformer load [6].

The digital twin enables the implementation of the following peak-smoothing management strategies:

1. Preconditioning with load shifting. If the digital twin predicts that a series of fast charges will begin in 20 minutes (during the evening peak hour), it can proactively (during low-rate periods) turn on the chiller to cool a buffer storage unit (e.g., a storage tank with a thermal management system or a large volume of liquid). During peak charging, the battery will be cooled using this accumulated cold, and the chiller compressor can be turned off or run at minimum power, reducing the load on the grid.

2. Dynamic cooling capacity regulation. Instead of running pumps and fans at full capacity, the digital twin, solving the optimization problem, selects a refrigerant flow rate that will evenly cover the current heat load without overcooling. This implements the energy efficiency principle laid out in [4], where accurate modeling helps avoid over-reservation.

3. Demand Response. Upon receiving a signal from the grid operator about a critical load, the digital twin assesses potential risks. If the battery temperature is within the acceptable range, it can reduce the cooling system's power for 2-3 minutes (or even temporarily suspend it), using the thermal inertia of the battery and components as a short-term buffer. This allows peaks to be «skipped» without interrupting the charging session.

4. Smoothing «superpeaks». If several high-power charging sessions are initiated simultaneously, the digital twin redistributes the cooling system's power. Thus, the hottest battery receives maximum cooling, even entering immersion mode [1], while the others are cooled at a lower rate, ensuring the power limit allocated to the entire station is met.

Conclusion

The development and implementation of digital twins of integrated climate control systems for charging stations is a promising area of digitalization in the electric power industry. This approach transforms the climate control system from a passive consumer into an active demand management tool [8].

By exploiting the thermal inertia of batteries and cold storage devices based on the FPM, the digital twin allows for shifting peak power consumption at the charging station to periods of low grid load, reducing electricity costs and reducing the load on transformer substations. This facilitates a smoother and more cost-effective integration of charging infrastructure into urban power grids without the need for immediate and costly upgrades [5].

Further research should be aimed at creating simplified (reduced) thermal models suitable for real-time operation on more affordable controllers, and at developing corresponding standardized data exchange protocols between the vehicle, charging station, and grid to implement the algorithms described above.

References

1. Behi H., Karimi D., Behi M., Ghanbarpour M., Jaguemont J., Sokkeh M. A., Hosseinzadeh E., Berecibar M., Van Mierlo J. Advanced hybrid thermal management system for LTO battery module under fast charging // Case Studies in Thermal Engineering. 2022. Vol. 33. P. 101938.

2. Gómez Díaz K. Y., Narváez C. I., Tostado-Véliz M., Vera D., Jurado F. Thermal Management Systems for Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles: A Review // World Electric Vehicle Journal. 2025. Vol. 16, iss. 12. P. 346.

3. Tai L. D., Dung D. T., Huynh P. T., Dan V. N., Thao N. T. M., Thao V. T. P. A Review on Advanced Battery Thermal Management Systems for Fast Charging in Electric Vehicles // Batteries. 2024. Vol. 10, iss. 11. P. 372.

4. Zhang B., Haldiyeva N., Kumar P., Li H., Mi C. C. Thermal Analysis and Design of a 30kW EV Wireless Charger with Liquid-Cooled Shell for Magnetic Coupler and Integrated Power Converter // 2021 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). 2021. P. 426-431.

5. Lazarev, P. S. Impact of Electric Vehicle Charging Stations on the Energy System / P. S. Lazarev // Tinchurinskiye chteniya – 2025 «Energetika i tsifrovaya transformatsiya». – Kazan: KSPEU, 2025. – pp. 580-583.

6. Sunin, V. A. Energy Saving by Modeling Intelligent Electric Vehicle Charging / V. A. Sunin, A. N. Khusnutdinov // Tekhnologicheskiy suverenitet i tsifrovaya transformatsiya : Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, – Kazan: KSPEU, 2024. – pp. 242-247.

7. Khusnutdinov A. N. Improving the Efficiency of the Energy System Based on the Development of Electric Vehicle Charging Infrastructure / Khusnutdinov A. N., Lazarev P. S., Mardanshina R. A., Toirov O. Z. // Innovatsionnyye mashinostroitelnyye tekhnologii. oborudovaniye i materialy – 2022 (MNTK "IMTOM-2022"). Kazan, 2022. pp. 319-323

8. Akmalov F.I. Efficient management of the load on the electric grid through multi-model forecasting for charging stations of electric vehicles / Akmalov F.I., Khusnutdinov A.N., Ergashof Sh.O.U. // Tinchurinskiye chteniya – 2024 «Energetika i tsifrovaya transformatsiya». – Kazan: KSPEU, 2024. pp. 261-264.

УДК 004.75

ПРИМЕНЕНИЕ EVENT-DRIVEN АРХИТЕКТУРЫ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ

Лещев А.Д., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0000-9701-4588

APPLICATION OF EVENT-DRIVEN ARCHITECTURE IN DISTRIBUTED TASK MANAGEMENT SYSTEMS: DESIGN AND IMPLEMENTATION

Leshchev A.D., Student of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0000-9701-4588

Аннотация

Статья посвящена разработке распределённой системы управления задачами, построенной на принципах event-driven архитектуры. Проект реализован как учебный полигон для отработки стека Spring Boot, Apache Kafka и Redis в условиях, приближённых к промышленным. Архитектура включает три микросервиса с разграниченными зонами ответственности. Планировщик периодически сканирует базу данных и публикует события о наступивших дедлайнах в топик Kafka. Сервис уведомлений подписывается на этот топик и доставляет сообщения через Telegram Bot API и WebSocket. Такое разделение позволяет добавлять новые каналы уведомлений без изменения логики планировщика. Для предотвращения дублирования событий при параллельном запуске нескольких экземпляров планировщика применяются распределённые блокировки на Redis. В статье обсуждаются причины выбора Kafka вместо синхронных вызовов, особенности работы с общей базой данных в условиях нескольких сервисов, а также практические наблюдения, полученные в ходе реализации проекта.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, event-driven architecture, Apache Kafka, распределённые системы, управление задачами, Redis, WebSocket, уведомления, Docker, Spring Boot

Abstract

This article explores the development of a distributed task management system built on event-driven architecture principles. The project was implemented as a training ground for testing the Spring

Boot, Apache Kafka, and Redis stack in production-like conditions. The architecture includes three microservices with distinct areas of responsibility. The scheduler periodically scans the database and publishes deadline events to a Kafka topic. The notification service subscribes to this topic and delivers messages via the Telegram Bot API and WebSocket. This separation allows for the addition of new notification channels without changing the scheduler logic. Distributed locks on Redis are used to prevent event duplication when running multiple scheduler instances in parallel. The article discusses the reasons for choosing Kafka over synchronous calls, the specifics of working with a shared database across multiple services, and practical observations gained during the project.

Keywords: microservice architecture, event-driven architecture, Apache Kafka, distributed systems, task management, Redis, WebSocket, notifications, Docker, Spring Boot

1. Введение

Проект Todo Application изначально задумывался как обычный CRUD для задач на Spring Boot. Однако в процессе проектирования стало очевидно, что такая реализация не даёт возможности разобраться с тем, что действительно интересовало: как микросервисы могут взаимодействовать без прямых вызовов друг к другу и насколько это оправдано на практике.

Поэтому к основному сервису были добавлены ещё два: один отвечает за периодическую проверку дедлайнов, второй – за доставку уведомлений. Такое разделение дало возможность проверить event-driven подход не в теории, а на работающем приложении. Kafka была выбрана в том числе потому, что, в отличие от RabbitMQ, предоставляет встроенные гарантии доставки и хранит сообщения на диске – это важно при временном отказе потребителя.

Помимо технического интереса, проект преследовал и практическую цель: заложить архитектуру, в которую можно добавлять новые каналы уведомлений без переписывания существующей логики. Если пользователь захочет получать напоминания во ВКонтакте или по email – достаточно написать нового потребителя того же топика. Сам планировщик при этом не меняется.

2. Выбор подхода к межсервисному взаимодействию

На этапе проектирования взаимодействие между планировщиком и сервисом уведомлений можно было реализовать двумя способами: синхронным HTTP-запросом или асинхронной передачей событий через брокер сообщений.

Синхронный вариант – REST или gRPC – проще в реализации и отладке. Цепочка вызовов прозрачна, ошибки видны сразу. Но у него есть принципиальный недостаток: если сервис уведомлений недоступен в момент срабатывания планировщика, уведомление теряется. При высокой нагрузке это превращается в каскадный отказ [2]. Для данного проекта, где задержка не является критичным параметром, такой риск неприемлем.

Kafka решает эту проблему иначе: планировщик публикует событие в топик и сразу продолжает работу, не дожидаясь реакции потребителя. Kafka хранит события на диске, поэтому сервис уведомлений прочитает их даже после перезапуска [3]. Кроме того, семантика at-least-once означает, что сообщение не будет потеряно – именно это отличало Kafka от рассматривавшегося RabbitMQ при выборе брокера [4].

В таблице 2 приведено сравнение двух подходов применительно к задачам данного проекта.

3. Архитектура системы

Система разбита на три прикладных микросервиса. Разделение на три части продиктовано различием их задач, а не стремлением к максимальной декомпозиции – добавлять четвёртый сервис ради сервиса не имело смысла. Компоненты системы описаны в табл. 1.

Принципиальное ограничение по дизайну: только Todo Service имеет право записывать данные в PostgreSQL. Это решение было принято осознанно – все три сервиса работают с одной базой данных, и разрешить запись нескольким из них означало бы усложнить логику согласованности данных. Дублирование моделей между сервисами при этом неизбежно, но это плата за их независимость.

Таблица 1

Компоненты системы и их ответственность

Компонент	Порт	Ответственность
Todo Service	8080	CRUD задач и категорий, JWT-аутентификация. Единственный сервис, пишущий в БД.
Scheduler Service	8082	Периодическое сканирование дедлайнов, публикация событий в Kafka, Redis-блокировки.
Notification Service	8081	Потребление событий Kafka, отправка Telegram-сообщений и WebSocket-пушей.
Frontend (Nginx)	80	React/Vite SPA, обратный прокси, апгрейд WebSocket-соединений.
PostgreSQL	5432	Основное хранилище данных.
Redis	6379	Кэш, распределённые блокировки, хранение временных токенов.
Apache Kafka	9092	Шина событий между Scheduler и Notification сервисами.

4. Event-driven взаимодействие через Apache Kafka

Обработка одного напоминания проходит следующие шаги:

1) Scheduler Service по расписанию запрашивает из базы записи с наступившим дедлайном;

2) Перед публикацией сервис проверяет через Redis, не было ли это напоминание уже отправлено. Если нет – захватывает блокировку командой SETNX с TTL и публикует событие;

3) Событие уходит в топик reminder.due в формате JSON: userId, taskId, title, dueAt;

4) Notification Service читает событие из топика. Даже если сервис перезапускался – Kafka отдаст сообщение повторно, ничего не потеряется;

5) Сервис параллельно отправляет Telegram-уведомление и WebSocket-пуш. Токены сессий хранятся в Redis.

Таблица 2

Сравнение синхронного и асинхронного подходов к межсервисному взаимодействию

Критерий	Синхронный REST	Kafka (выбранный)
Связанность сервисов	Высокая – сервисы зависят по времени	Низкая – производитель не ждёт потребителя
Отказоустойчивость	Отказ получателя = потеря уведомления	Сообщения хранятся в логе Kafka
Масштабирование	Нужен балансировщик на стороне получателя	Consumer group масштабируется горизонтально
Гарантии доставки	Нет встроенных механизмов	At-least-once из коробки
Сложность отладки	Низкая – цепочка вызовов прозрачна	Выше – нужен трейсинг через correlation ID
Порог входа	Низкий	Средний – брокер, топики, группы потребителей

Для данного проекта наиболее значимым критерием стала независимость планировщика от сервиса уведомлений. Задержка доставки здесь некритична, поэтому асинхронный подход оправдан даже с учётом более высокого порога входа.

5. Особенности реализации

5.1. Технологический стек

Все три сервиса написаны на Java 17 с использованием Spring Boot 3.x. До этого проекта основным языком был Go, и переход на Spring в первую очередь был обусловлен желанием разобраться с его экосистемой. Главное отличие – Spring берёт на себя шаблонный код для обработки запросов и работы с базой данных, что позволяет сосредоточиться на логике. Spring Kafka и Spring Data JPA вписываются в эту же философию. Фронтенд – TypeScript + React + Vite [5].

5.2. Распределённые блокировки

При запуске нескольких экземпляров Scheduler Service возникает проблема: каждый экземпляр независимо обнаружит одно и то же просроченное напоминание и опубликует событие. Пользователь получит дубль уведомления.

В процессе разработки потребовалось разобраться с семантиками доставки Kafka: at-least-once, at-most-once и exactly-once. Для данной задачи выбрана семантика at-least-once с ручной защитой от дублей через Redis. Перед публикацией события сервис пытается записать ключ reminder:{reminderId}:lock командой SETNX с TTL. Если ключ уже существует – другой экземпляр уже обрабатывает эту запись, текущий её пропускает. После публикации ключ живёт до истечения TTL, затем удаляется автоматически [6].

5.3. Мультиканальные уведомления

Notification Service отправляет уведомление по двум каналам одновременно. Telegram – через Long Polling Bot API с библиотекой TelegramBots. Браузер – через STOMP поверх WebSocket (Spring WebSocket + SockJS). Идентификатор WebSocket-сессии хранится в Redis и живёт столько же, сколько JWT-токен пользователя.

Такая архитектура была выбрана в том числе с прицелом на расширение: если добавить бота для ВКонтакте или email-уведомления, Scheduler Service трогать не придётся – новый потребитель просто подписывается на тот же топик. В текущей реализации WebSocket-соединение существует, пока открыт браузер. В качестве следующего шага рассматривается замена на push-уведомления браузера, которые работают и в фоновом режиме.

5.4. Контейнеризация

Все компоненты системы объединены в Docker Compose: три прикладных сервиса, PostgreSQL, Redis, Kafka, Zookeeper и Nginx – итого восемь контейнеров. Переменные окружения вынесены в .env-файл, что делает запуск воспроизводимым на любой машине. CI/CD настроен через GitHub Actions: при каждом пуше в main собираются все образы и проверяется, что система поднимается без ошибок [7].

6. Результаты и обсуждение

Система реализована и задеплоена – в том числе как Telegram Mini App. Основная цель достигнута: на работающем проекте удалось разобраться с event-driven взаимодействием, семантиками доставки Kafka и распределёнными блокировками на Redis.

Главный практический вывод по архитектуре: разделение на три сервиса оправдало себя именно с точки зрения расширяемости. Добавить новый канал уведомлений можно без изменения планировщика – это и была цель. Честный минус – дублирование моделей между сервисами, которые работают с одной базой данных. Это неизбежная плата за независимость, но в небольшом проекте ощущается как лишняя работа.

Kafka в данном проекте технически является избыточным решением: задержка некритична, нагрузка невысокая, и REST справился бы. Однако цель состояла не в оптимальности, а в отработке паттерна. И с этой точки зрения выбор оправдан: Kafka показала, как должна выглядеть слабосвязанная асинхронная система, и дала понимание разницы между семантиками доставки на практике, а не в теории.

7. Выводы

Проект подтвердил, что event-driven архитектура на Apache Kafka решает задачу независимого масштабирования компонентов и устойчивости к временным сбоям. Новый канал уведомлений добавляется без изменения существующей логики – именно это и проверялось.

Распределённые блокировки на Redis закрыли проблему дублирования событий при горизонтальном масштабировании планировщика. Docker Compose обеспечил воспроизводимое окружение.

Если начинать проект заново – WebSocket для уведомлений был бы заменён на push-уведомления браузера сразу: они работают в фоне и не требуют открытого соединения. Также стоило бы вынести общие модели в отдельную библиотеку, чтобы не дублировать их между сервисами. Исходный код доступен в открытом репозитории [8].

Список литературы

1. Newman, S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems / S. Newman. – 2nd ed. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2021. – 612 p.

2. Kleppmann, M. Designing Data-Intensive Applications / M. Kleppmann. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2017. – 611 p.

3. Narkhede, N. Kafka: The Definitive Guide / N. Narkhede, G. Shapira, T. Palino. – 2nd ed. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2021. – 468 p.

4. Richardson, C. Microservices Patterns: With Examples in Java / C. Richardson. – Shelter Island : Manning Publications, 2018. – 520 p.

5. Fowler, M. Patterns of Enterprise Application Architecture / M. Fowler. – Boston : Addison-Wesley, 2002. – 533 p.

6. Hohpe, G. Enterprise Integration Patterns / G. Hohpe, B. Woolf. – Boston : Addison-Wesley, 2003. – 736 p.

7. Humble, J. Continuous Delivery / J. Humble, D. Farley. – Boston : Addison-Wesley, 2010. – 512 p.

8. Лещев, А. Д. Todo Application: распределённая система управления задачами [Электронный ресурс] / А. Д. Лещев. – URL: https://github.com/tainj/todo-app (дата обращения: 28.08.2026).

УДК 004.9

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА: ОТ ДАННЫХ РОССТАТА К РЕГРЕССИОННОЙ БАЗОВОЙ ЛИНИИ

Ломакин И.Н., ассистент кафедры управления качеством;
E-mail: lomakin2005@list.ru;
Камарин В.И., студент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия
E-mail: zdkfl11@mail.ru

STATISTICAL MONITORING OF ENERGY CONSUMPTION IN AN INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM: FROM ROSSTAT DATA TO A REGRESSION-BASED ENERGY BASELINE

Lomakin I.N., Assistant Lecturer, Department of Quality Management;
E-mail: lomakin2005@list.ru;
Kamarin V.I., Fourth-year Bachelor's student majoring in Statistics, National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev, Saransk, Russia;
E-mail: zdkfl11@mail.ru

Аннотация

В статье предложен подход к статистическому мониторингу энергопотребления в интегрированной системе менеджмента. Проблема исследования заключается в несогласованности открытой макроэкономической статистики и оперативных измерений предприятия: первые характеризуют внешний отраслевой контекст, но не объясняют режим конкретного объекта, вторые обладают высокой детализацией, однако не позволяют отделить изменение условий работы от ухудшения энергетической результативности. Цель работы – обосновать порядок совместного использования данных Росстата и регрессионной энергетической базовой линии. Практический результат заключается в разграничении функций официальной статистики и внутренних измерений компании: данные Росстата поддерживают планирование и внешнее сопоставление, а регрессионная модель обеспечивает оперативную проверку и своевременное обнаружение несоответствий.

Ключевые слова: интегрированная система менеджмента, энергетический менеджмент, управление качеством, статистический мониторинг, регрессионный анализ

Abstract

The article proposes an approach to the statistical monitoring of energy consumption within an integrated management system. The research addresses the inconsistency between publicly available macroeconomic statistics and operational enterprise measurements. While official statistics characterize the external industry context, they do not explain the operating conditions of a specific facility. Conversely, enterprise-level measurements provide detailed operational information but do not allow changes in operating conditions to be distinguished from actual deterioration in energy performance. The aim of the study is to substantiate a framework for the combined use of Rosstat data and a regression-based energy baseline. The practical contribution lies in defining the complementary roles of official statistics and internal company measurements: Rosstat data support strategic planning and external benchmarking, whereas the regression model enables continuous operational monitoring and the timely detection of deviations.

Keywords: integrated management system, energy management, quality management, statistical monitoring, regression analysis

Введение

Цифровизация промышленности увеличила объем исходных данных, однако не устранила проблему их интерпретации. Один и тот же рост энергопотребления может быть следствием увеличения выпуска, изменения ассортимента, похолодания, продолжительности смены или технической деградации процесса. Обратная ситуация возникает при простое, когда общий расход снижается, хотя удельные потери и расход на поддержание технического состояния оборудования возрастают.

ГОСТ Р ИСО 9001–2015 содержит принцип принятия решений, основанных на свидетельствах [1]. В ГОСТ Р ИСО 50001–2023 данный принцип конкретизируется через энергетический анализ, показатели энергетической результативности и энергетические базисы [2]. Для выполнения этих требований предприятиям необходимы данные разных уровней. Официальная статистика характеризует положение отрасли и территории, а сведения приборов отражают режимы отдельных процессов и значимых энергопотребителей.

Росстат формирует показатели энергоемкости ВВП, баланса электроэнергии и расхода топливно-энергетических ресурсов [3, 4]. Методологически эти данные сопоставимы, однако их периодичность не позволяет переносить среднероссийские или региональные значения на предприятие без учета факторов технологии, загрузки и климата. Цель исследования – разработать подход, при котором данные Росстата задают внешний контекст, а регрессионная модель формирует внутреннюю динамическую среду. Для этого определены источники дан-

ных, проанализированы официальные показатели, построены регрессионные спецификации и предложен порядок включения результатов в цикл постоянного улучшения PDCA.

Материалы и методы исследования

Информационная основа энергоменеджмента должна строиться по принципу соответствия масштаба данных масштабу решения. В исследовании выделены три взаимосвязанных уровня статистического обеспечения энергетического менеджмента (таблица 1).

Таблица 1

Уровни статистического обеспечения энергетического менеджмента

Уровень	Источники	Частота данных	Применение
Внешний	Росстат: энергоемкость ВВП и ВРП, баланс электроэнергии, формы №4-ТЭР и №23-Н	Месяц, квартал, год	Отраслевой контекст, выбор сопоставимой группы данных, оценка структурных сдвигов
Организационный	Коммерческий и технический учет, выпуск энергии, режимы оборудования, погодные условия	Сутки, смены, часы	Энергетический анализ
Процессный	Датчики энергопотребления, журналы простоев и ремонтных работ	Сутки, смены, события	Поиск причины отклонения, корректирующие действия

Внешний источник исследования сформирован по официальной информации Росстата о промышленном производстве за 2024 год [5]. Для электрической и тепловой энергии рассчитаны структурные доли, динамика оценена индексами к предыдущему году. Форма №4-ТЭР содержит сведения об использовании топлива, электрической и тепловой энергии, удельном расходе и приборах учета. Форма №23-Н охватывает производство, передачу, распределение и потребление электроэнергии.

Методы выбирались по содержанию вопроса: описательная статистика оценивала уровень и вариацию показателей, структурный анализ – общероссийский фон, регрессия – ожидаемое часовое потребление. Такой порядок соответствует логике статистического управления процессами [6] и требованиям к спецификации эконометрической модели [7].

Для воспроизводимой проверки использован открытый набор данных «Appliances Energy Prediction» [9, 10]. Источник включает в себя более 19 тыс. записей с января по май 2016 года: потребление электроприборов и освещения, параметры девяти зон и погодные условия. После почасовой агрегации, исключения неполных интервалов получено 3265 записей наблюдений. Модель М1 включает наружную и среднюю внутреннюю температуру, влажность и скорость ветра. В М2 вошли потребление освещения, циклические признаки времени суток и выходной день. Модель М3 учитывает часовую и суточную инерцию потребления. Общий вид формулы:

$$E_t = \beta_0 + \beta' X_t + \varphi_1 E_{t-1} + \varphi_{24} E_{t-24} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где E_t – часовое потребление, кВт*ч; X_t – климатические и операционные признаки; φ_1 и φ_{24} – коэффициенты лагов; ε_t – остаток.

Коэффициенты получены методом наименьших квадратов, значимость рассчитана с поправкой и лагом в 24 часа. При выборе методов учитывались переменные и пригодность модели [8].

Результаты исследования и их обсуждение

По данным Росстата в 2024 г. в России произведено 1209 млрд кВт*ч электроэнергии, то есть на 2,4% больше прошлого года [5]. Основной объем обеспечили тепловые электростанции – 773 млрд кВт*ч. В табл. 2 представлены показатели производства электрической и тепловой энергии в России в 2024 г.

Таблица 2

Показатели производства электрической и тепловой энергии в России в 2024 году по данным Росстата [5]

Показатель	Объем	Доля, %	К 2023 г., %	Значение для энергоанализа
Электроэнергия, всего	1209 млрд кВт*ч	100,0	102,4	Общая динамика энергетической системы
Тепловые электростанции	773 млрд кВт*ч	63,9	102,7	Преобладающий источник, зависимый от топлива и нагрузки
Атомные электростанции	216 млрд кВт*ч	17,9	99,1	Относительно стабильная базовая генерация
Гидрогенерация	212 млрд кВт*ч	17,5	104,8	Компонент, который зависит от гидрологических условий

Данные Росстата формируют внешнюю точку отсчета. Организация выбирает показатели для своего вида деятельности, проверяет единицы измерения и выявляет периоды структурных изменений. При анализе со стороны руководства внешняя динамика позволяет отделить общий отраслевой процесс от внутренних причин.

Рассмотрим результаты моделирования. Среднее часовое потребление электроприборов составило 0,586 кВт*ч при стандартном отклонении в 0,487 кВт*ч и диапазоне 0,170–3,650 кВт*ч. Климатическая модель М1 оказалась недостаточной, поскольку на проверочном периоде ее R^2 равен -0,101. Добавление признаков в М2 повысило показатель до 0,147. Модель М3 достигла R^2 0,430 при MAE 0,189 кВт*ч (таблица 3).

Таблица 3

Сравнение регрессионных моделей часового энергопотребления

Модель	R^2, обучение	Скорр. R^2	R^2, проверка	MAE, кВт*ч	RMSE, кВт*ч	AIC
М1	0,050	0,048	-0,101	0,357	0,426	3719,8
М2	0,238	0,235	0,147	0,261	0,375	3151,4
М3	0,401	0,398	0,430	0,189	0,306	2527,5

Наибольший коэффициент получен для E_{t-1} -0,451 (при $p < 0,001$): увеличение потребления предыдущего часа на 1 кВт*ч связано с ростом текущего значения на 0,452 кВт*ч при прочих равных условиях. Значимыми также являются суточный лаг (0,073; $p = 0,003$), время суток и освещение. После учета динамики температура, влажность, скорость ветра и выходной день не достигли уровня значимости 0,05.

На рис. 1 продемонстрировано, что модель воспроизводит суточный ритм, то есть расчетное значение следует понимать как ожидаемый уровень при наблюдаемых условиях. Превышение значений становится сигналом после проверки качества исходных данных, продолжительности отклонения и состояния процесса.

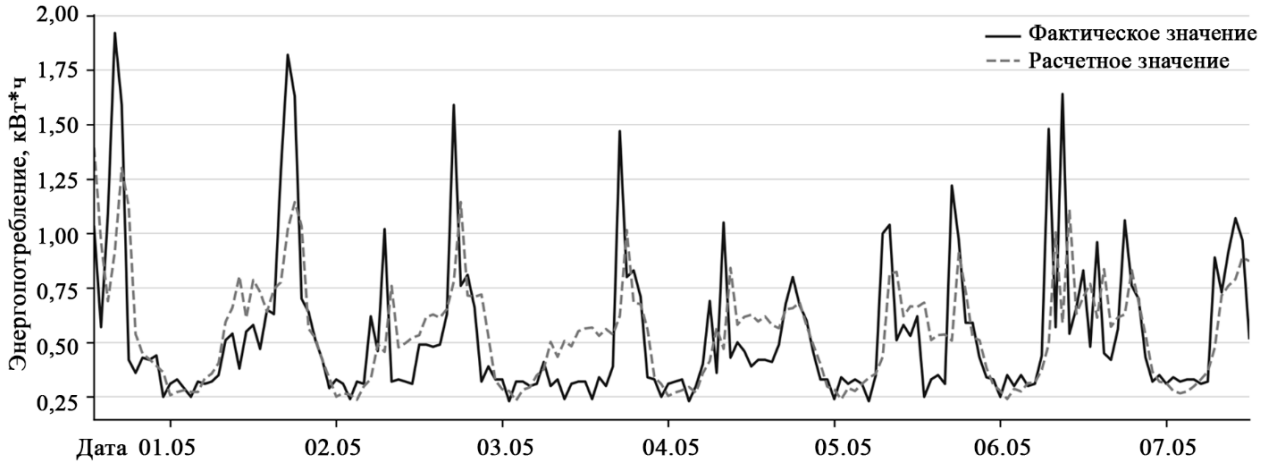


Рис. 1. Фактические и расчетные значения энергопотребления
на проверочной выборке по исходным данным [9]

Таким образом, при планировании показатели Росстата помогают установить границы, единицы измерения, сопоставимую отрасль и перечень факторов, а предприятие определяет значимых энергопотребителей. В данной модели расчетное потребление образует динамичную базовую линию, а остаток показывает отклонение факта при сопоставимых условиях. Положительное значение может указывать на перерасход энергии, отрицательное – на экономию.

Качество модели зависит от исходных данных процесса. В регламенте должны закрепляться владелец процесса, источники данных, периодичность измерений, единицы измерения, допустимая доля пропусков данных и правила их обработки. Связь с управлением качеством заключается в прослеживаемости решения. Регрессия становится частью управляемого процесса. Сведения Росстата позволяют обнаружить несопоставимость периода, отраслевой сдвиг или ошибочный выбор базы данных.

Выводы

Таким образом, официальная статистика и данные предприятия решают разные, однако взаимосвязанные задачи. Показатели Росстата формируют отраслевой и макроэкономический контекст, поддерживают выбор сопоставимой группы для выявления структурных изменений. Эти данные не должны использоваться как норма расхода для отдельного предприятия без учета технологии и режимов работы.

Регрессионная модель позволяет рассчитать ожидаемое энергопотребление и сопоставить его с фактическим значением. Рассматриваемая модель достигла R^2 0,430 при средней абсолютной ошибке 0,189 кВт*ч. Выявленные отклонения выступают как сигнал для анализа причин перерасхода энергии и принятия обоснованных управленческих решений.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2015 г. № 1391-ст : введен впервые 2015-11-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 32 с.

2. ГОСТ Р ИСО 50001–2023. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению : национальный стандарт Российской Федерации : издание офици-

альное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 февраля 2023 г. № 100-ст : введен 2023-06-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2023.

3. Официальная статистическая методология расчета показателя «Энергоемкость валового внутреннего продукта» / Федеральная служба государственной статистики. – Москва : Росстат, 2026. – Текст : электронный. – URL: https://rosstat.gov.ru/folder/232427 (дата обращения: 21.07.2026).

4. Официальная статистическая методология формирования Баланса производства и потребления электроэнергии / Федеральная служба государственной статистики. – Москва : Росстат, 2025. – Текст : электронный. – URL: https://rosstat.gov.ru/folder/232427 (дата обращения: 24.07.2026).

5. О промышленном производстве в 2024 году : срочная информация / Федеральная служба государственной статистики. – 2025. – Текст : электронный. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/10_05-02-2025.html (дата обращения: 24.07.2026).

6. Антонова, И. И. Статистические методы в управлении качеством : учебник для вузов / И. И. Антонова, В. А. Смирнов. – Москва : Юрайт, 2024. – 245 с. – ISBN 978-5-534-18537-9.

7. Кремер, Н. Ш. Эконометрика : учебник и практикум для вузов / Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко ; под редакцией Н. Ш. Кремера. – 4-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2025. – 308 с. – ISBN 978-5-534-08710-9.

8. ISO 50006:2023. Energy management systems – Evaluating energy performance using energy performance indicators and energy baselines. – 2nd ed. – Geneva : International Organization for Standardization, 2023. – 36 p.

9. Candanedo L. Appliances Energy Prediction [Data set] / L. Candanedo. – DOI 10.24432/C5VC8G. – Text : electronic // UCI Machine Learning Repository. – 2017. – URL: https://archive.ics.uci.edu/dataset/374/appliances+energy+prediction (accessed: 24.07.2026).

10. Candanedo L. M. Data driven prediction models of energy use of appliances in a low-energy house / L. M. Candanedo, V. Feldheim, D. Deramaix. – DOI 10.1016/j.enbuild.2017.01.083 // Energy and Buildings. – 2017. – Vol. 140. – P. 81–97.

УДК 006.85

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ломакин И.Н., ассистент кафедры управления качеством;
E-mail: lomakin2005@list.ru;
Фадеева А.Н., магистрант ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия;
E-mail: alinafadeeva031@yandex.ru

APPLICATION OF LEAN PRODUCTION TOOLS IN THE INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Lomakin I.N., Assistant Lecturer, Department of Quality Management;
E-mail: lomakin2005@list.ru;
Fadeeva A.N., Master's student, National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev, Saransk, Russia;
E-mail: alinafadeeva031@yandex.ru

Аннотация

В статье показано, как инструменты бережливого производства могут быть включены в действующую интегрированную систему менеджмента предприятия. На основе национальных стандартов выделены основные этапы работы: выявление потерь, выбор инструмента, проверка результата и закрепление изменений в документированной информации. Предложенный порядок рассмотрен применительно к площадке группы «Напитки Вместе» без использования внутренних количественных данных.

Ключевые слова: бережливое производство, интегрированная система менеджмента, потери, документированная информация, цифровизация

Abstract

The article shows how lean production tools can be incorporated into an enterprise's existing integrated management system. Based on national standards, the main stages of this work are identified: identifying waste, selecting a tool, verifying the result, and formalizing changes in documented information. The proposed procedure is considered in relation to the production site of the Napitki Vmeste Group without the use of internal quantitative data.

Keywords: lean production, integrated management system, waste, documented information, digitalization

Введение

Промышленное предприятие решает задачи, которые связаны с качеством продукции, воздействием на окружающую среду и использованием ресурсов. На практике эти задачи относятся к одним и тем же производственным и обеспечивающим процессам. Их раздельное регулирование приводит к повторению отдельных проверок, документов и управленческих действий. Согласовать требования нескольких стандартов позволяет интегрированная система менеджмента (далее – ИСМ). Бережливое производство (далее – БП) дополняет ее методами выявления и сокращения потерь.

Объединение требований целесообразно выполнять на основе процессного подхода. В пункте 4.4.1 ГОСТ Р ИСО 9001–2015 установлено, что организация должна «разработать, внедрить, поддерживать и постоянно улучшать систему менеджмента качества, включая необходимые процессы и их взаимодействия» [1, п. 4.4.1]. Это требование определяет порядок применения инструментов БП. Каждый инструмент необходимо связывать с конкретным процессом системы менеджмента качества (далее – СМК), а не рассматривать как отдельное мероприятие. До начала работы определяются область применения, владелец процесса, критерий оценки результата и состав подтверждающих записей.

В ГОСТ Р 56020–2020 БП определено как концепция, ориентированная на «создание привлекательной ценности для потребителя путем формирования непрерывного потока создания ценности» с вовлечением персонала и устранением потерь [2, п. 4.1.1]. ГОСТ Р 56404–2021 развивает эти положения на уровне системы менеджмента бережливого производства (далее – СМБП) и прямо предусматривает «интеграцию требований СМБП в процессы системы менеджмента организации» [3, п. 5.1.1]. Специальные рекомендации по объединению СМК и СМБП установлены ГОСТ Р 57522–2017 [4]. Предприятию остается перевести эти положения в последовательность действий.

Проблема исследования состоит в том, что картирование потока, организация рабочего пространства, визуализация и иные инструменты часто применяются как отдельные мероприятия. Если новый порядок не включен в документированную информацию (далее – ДИ) и показатели процесса, эффект постепенно снижается. Цель исследования заключается в разработке порядка применения инструментов БП в процессах ИСМ. Для этого классифицирована нормативная база, определено место инструментов и установлен способ закрепления результата.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили национальные стандарты на отдельные системы менеджмента, интеграцию требований и бережливое производство [1–8], а также опубликованные ранее результаты изучения цифровизации стандартизированных и интегрированных систем менеджмента [9, 10]. Применялись сравнительный анализ, систематизация положений и структурирование связей между требованиями, потерями, инструментами и показателями. Единицей сопоставления выбран процесс ИСМ.

Для каждого инструмента определялись задача, вид потери, этап управления, форма ДИ и показатель. Изменение считалось закрепленным, если оно имело владельца, было внесено в документ, доведено до исполнителей и подтверждено повторным измерением. Практическая применимость оценивалась без внутренних количественных данных.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты классификации нормативных документов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Классификация стандартов, используемых при включении бережливого производства в интегрированную систему менеджмента

Группа документов	Примеры стандартов	Значение для применения инструментов БП
Стандарты на отдельные системы менеджмента	ГОСТ Р ИСО 9001–2015 [1]; ГОСТ Р ИСО 14001–2016 [5]; ГОСТ Р ИСО 50001–2023 [6]	Устанавливают требования к процессам, ресурсам, оценке результатов и улучшению применительно к качеству, окружающей среде и энергорезультативности
Документы по интеграции систем менеджмента	ГОСТ Р 58542–2019 [7]; ГОСТ Р 57522–2017 [4]	Определяют общие процессы, ответственность и документирование, а также рекомендации по совместному применению СМК и СМБП
Основные положения и требования БП	ГОСТ Р 56020–2020 [2]; ГОСТ Р 56404–2021 [3]	Закрепляют понятия ценности, потока и потерь, требования к лидерству, планированию, выполнению, оценке и постоянному улучшению
Методы и инструменты БП	ГОСТ Р 56407–2023 [8]	Раскрывает назначение инструментов, порядок их применения, возможности и риски

Классификация показывает, что инструменты БП не образуют самостоятельный набор действий. Стандарты на системы менеджмента задают общие требования, но различаются объектами: качеством, экологическими аспектами или использованием энергии. Документы по интеграции объединяют одинаковые процессы, а положения БП дополняют их ориентацией на ценность и сокращение потерь.

ГОСТ Р 56404–2021 требует постоянно улучшать СМБП, «включая потоки создания ценности, необходимые процессы и их взаимодействие» [3, п. 4.4]. Сходство структуры стандартов позволяет совместно определять заинтересованные стороны, риски, цели, ДИ, мониторинг и корректирующие действия. Инструмент необходимо связать с отклонением и обычным порядком управления процессом.

Включение инструментов БП в ИСМ следует рассматривать как управляемое изменение процесса, при котором решение о применении конкретного инструмента принимается на

основе установленного вида потери, ее причин и исходного значения показателя. Требования стандартов и заинтересованных сторон формируют управленческие ограничения, а цели, риски и критерии результативности процесса определяют условия выбора. Картирование потока создания ценности, организация рабочего пространства, визуализация, стандартизация работы, защита от непреднамеренных ошибок и всеобщее обслуживание оборудования должны соотноситься с характером выявленного отклонения. Полученный результат включается в ИСМ только после применения, сопоставления состояния процесса до и после изменения, актуализации документированной информации (ДИ), закрепления ответственности и установления контроля устойчивости (рис. 1).



Рис. 1. Модель выбора и закрепления инструментов бережливого производства в процессах интегрированной системы менеджмента

Конкретный инструмент бережливого производства выбирается после определения цели изменения и установления проблемы в рассматриваемом процессе. Такой порядок согласуется с ГОСТ Р 56407–2023: в разделе 4 стандарта необходимость применения инструмента предлагается определять «исходя из поставленных целей» [8, разд. 4]. Затем устанавливаются границы процесса и фиксируется его состояние до начала работы. Для оценки изменений используется показатель, связанный с выявленной потерей, например время выполнения операции, доля несоответствующая продукции или доступность оборудования.

Применение инструментов БП в ИСМ целесообразно распределять по этапам управления процессом с учетом выполняемой функции и ожидаемого результата. На этапе планирования определяется объект улучшения, описывается поток создания ценности, устанавливаются вид потери, ее причина и исходное значение показателя. Этап выполнения связан с организацией и стабилизацией операции посредством организации рабочего пространства, стандартизации работы, защиты от непреднамеренных ошибок и всеобщего обслуживания оборудования. При оценке подтверждается изменение состояния процесса на основе визуализации, наблюдения, измерений и внутреннего аудита. На этапе улучшения результат закрепляется в ДИ, подготовке работников и последующем контроле устойчивости, после чего подтвержденная практика может быть распространена на сходные процессы (рис. 2).



Рис. 2. Функциональная модель применения и закрепления инструментов бережливого производства по этапам управления процессом

Картирование потока создания ценности применяется в тех случаях, когда потери возникают не в отдельной операции, а при взаимодействии сразу нескольких процессов. На карте отмечаются: ожидание, межоперационные запасы, возврат продукции на повторную обработку и задержки при передаче информации. Сопоставление текущего и предполагаемого состояний необходимо, чтобы определить, какие процессы или этапы требуют изменения. В ИСМ полученные решения отражаются через уточнение входов и выходов процесса, ответственности участников.

Организация рабочего пространства связана с размещением материалов и инструментов, маркировкой зон, определением мест хранения. За счет этого сокращается время поиска и становится проще обнаружить отклонение. Схемы размещения, обозначения и визуальные материалы необходимо пересматривать при изменении процесса, иначе они перестают соответствовать фактическому порядку работы.

Стандартизация проводится после проверки нового способа выполнения операции. В документе указываются последовательность действий, требования к качеству, допустимые границы и порядок регистрации результата. Первоначально новый способ проверяется на отдельном участке. Если изменение дает ожидаемый эффект, проводится подготовка работников и новый порядок работы вводится в действие на других участках.

Защита от непреднамеренных ошибок необходима на операциях, где одно и то же несоответствие возникает неоднократно и может быть предупреждено конструкцией приспособления, блокировкой, сигналом или установленным порядком действий. Всеобщее обслуживание оборудования используется для сокращения остановок, связанных с его техническим состоянием. Результативность этих инструментов оценивается по изменению количества ошибок, простоев и повторно выполняемых операций.

Порядок включения инструмента БП в ИСМ представлен на рисунке 3. Сначала определяется процесс, в котором потери влияют на результат работы. После этого фиксируются его границы и исходное состояние, устанавливаются отклонение и его причина. Выбранный инструмент проверяется на ограниченном участке, а полученные показатели сопоставляются с первоначальными значениями. При подтверждении результата изменения вносятся в систему документированной информации для дальнейшего распространения практики.



Рис. 3. Последовательность включения инструмента бережливого производства в процессы ИСМ

Цифровые средства выполняют в предложенном порядке обеспечивающую функцию. Электронное управление ДИ ускоряет создание, согласование, актуализацию и поиск документов [9, с. 189]. Сбор данных ускоряет обнаружение отклонения. Однако согласование требований и полномочий остается задачей ИСМ [10, с. 335]. Цифровизация должна следовать за описанием процесса и критерия решения.

На саранской производственной площадке группы «Напитки Вместе» применяются корпоративные процедуры управления качеством, стандартизации операций, представления показателей и участия работников в улучшениях. Это создает основу для включения БП в ИСМ. Инициативы по сокращению потерь связываются с владельцами процессов, инструкциями, подготовкой персонала и оценкой результата. В статье внутренние количественные показатели предприятия не приводятся.

Для предприятия пищевой промышленности приоритетным условием является сохранение качества и безопасности продукции. Сокращение времени, запасов или перемещений оценивается вместе с санитарными требованиями, прослеживаемостью записей и состоянием оборудования. Подтвержденный порядок включается в ДИ. Подход применим в производственных и обеспечивающих процессах без раскрытия технологических режимов.

Выводы

Таким образом, результатом исследования является порядок включения инструментов бережливого производства в процессы ИСМ. Каждый инструмент соотносится с потерей, ответственным лицом, показателем и документированной информацией. Порядок предусматривает определение исходного состояния, определение причины потери, применение инструмента, повторное измерение и закрепление подтвержденного изменения. Это позволяет использовать картирование потока, организацию рабочего пространства, визуализацию, стандартизацию работы, защиту от ошибок и обслуживание оборудования без создания отдельной системы менеджмента.

Для саранской площадки группы «Напитки Вместе» определены основные условия применения предложенного порядка: соблюдение требований к качеству и безопасности продукции, обучение сотрудников, актуализация инструкций и последующий контроль результата.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Переизд. февраль 2020 г. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 32 с.
2. ГОСТ Р 56020–2020. Бережливое производство. Основные положения и словарь. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 18 с.
3. ГОСТ Р 56404–2021. Бережливое производство. Требования к системам менеджмента. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 30 с.
4. ГОСТ Р 57522–2017. Бережливое производство. Руководство по интегрированной системе менеджмента качества и бережливого производства. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 20 с.
5. ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 39 с.
6. ГОСТ Р ИСО 50001–2023. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению. – Москва : Российский институт стандартизации, 2023. – 36 с.
7. ГОСТ Р 58542–2019. Интегрированные системы менеджмента. Руководство по практическому применению. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 20 с.
8. ГОСТ Р 56407–2023. Бережливое производство. Основные инструменты и методы их применения. – Москва : Российский институт стандартизации, 2023. – 16 с.
9. Ломакин, И. Н. Цифровизация стандартизированных систем менеджмента как ключевой фактор устойчивого развития / И. Н. Ломакин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 9, № 12. – С. 185–192. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.12.09.021.
10. Глухова, Т. В. Возможности применения искусственного интеллекта для стандартизации и оптимизации процессов интегрированной системы менеджмента / Т. В. Глухова, И. Н. Ломакин // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 6 (87). – С. 334–340.

УДК 378.147:004

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Максимова Я.А., студент;
ORCID: 0009-0003-9292-113X;
E-mail: cvaninep.07@gmail.com;
Шарипов И.И., научный руководитель, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия

DISTANCE LEARNING IN ENGINEERING GRAPHICS: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Maksimova Ya.A., Student;
ORCID: 0009-0003-9292-113X;
E-mail: cvaninep.07@gmail.com;
Sharipov I.I., Academic Supervisor, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Аннотация

Дистанционное обучение становится всё более распространённой формой организации учебного процесса в технических вузах России и мира. Вместе с тем применение дис-

танционных технологий в преподавании инженерной графики сопряжено с рядом специфических трудностей, обусловленных практическим и пространственно-образным характером данной дисциплины. Инженерная графика традиционно требует непосредственного контакта преподавателя и студента, выполнения графических работ в режиме реального времени и постоянной обратной связи, что существенно усложняет её перевод в онлайн-формат. В статье рассматриваются основные проблемы, возникающие при дистанционном обучении инженерной графике: сложности формирования пространственного мышления, ограниченные возможности контроля самостоятельной работы студентов, технические барьеры, связанные с требованиями к оборудованию и программному обеспечению, а также снижение мотивации и учебной дисциплины. Проводится анализ современных цифровых инструментов и платформ, применяемых для организации дистанционного обучения данной дисциплине: систем автоматизированного проектирования (САПР) в облачном исполнении, средств видеоконференцсвязи, интерактивных образовательных платформ и виртуальных лабораторий. Предложены конкретные пути решения выявленных проблем, включая разработку специализированных электронных учебно-методических комплексов, внедрение адаптивных образовательных технологий и элементов геймификации. Обосновывается эффективность смешанного формата обучения, органично сочетающего дистанционные и очные элементы. Показано, что грамотное использование современных цифровых инструментов при системном подходе к организации обучения позволяет сохранить и повысить качество графической подготовки будущих инженеров. Сделан вывод о необходимости разработки специализированных методических решений с учётом специфики инженерной графики как практикоориентированной дисциплины.

Ключевые слова: дистанционное обучение, инженерная графика, САПР, цифровые технологии, техническое образование, методика преподавания, пространственное мышление, электронное обучение, образовательные платформы.

Abstract

Distance learning is becoming an increasingly widespread form of organizing the educational process in technical universities in Russia and around the world. However, the use of distance technologies in teaching engineering graphics is associated with a number of specific difficulties due to the practical and spatial-figurative nature of this discipline. Engineering graphics traditionally requires direct contact between the teacher and the student, the execution of graphic works in real time and constant feedback, which significantly complicates its transfer to an online format. The article examines the main problems arising in distance learning of engineering graphics: the difficulties of developing spatial thinking, limited possibilities for monitoring students' independent work, technical barriers related to hardware and software requirements, as well as a decrease in motivation and academic discipline. An analysis is conducted of modern digital tools and platforms used for organizing distance learning of this discipline: cloud-based computer-aided design systems (CAD), video conferencing tools, interactive educational platforms and virtual laboratories. Specific solutions to the identified problems are proposed, including the development of specialized electronic educational and methodological complexes, the introduction of adaptive educational technologies and gamification elements. The effectiveness of a blended learning format that organically combines distance and face-to-face elements is substantiated. It is shown that the competent use of modern digital tools with a systematic approach to organizing training makes it possible to maintain and improve the quality of graphic training of future engineers. A conclusion is drawn about the need to develop specialized methodological solutions that take into account the specifics of engineering graphics as a practice-oriented discipline.

Keywords: distance learning, engineering graphics, CAD, digital technologies, technical education, teaching methodology, spatial thinking, e-learning, educational platforms

Введение

Стремительное развитие информационных технологий и распространение дистанционных форм обучения существенно изменили облик современного высшего образования. Технические дисциплины, в том числе инженерная графика, оказались перед необходимостью адаптации к новым условиям [1]. Инженерная графика традиционно относится к практико-ориентированным дисциплинам, требующим непосредственного взаимодействия преподавателя и студента, выполнения графических работ вручную и с применением систем автоматизированного проектирования (САПР). Перевод такой дисциплины в дистанционный формат сопряжён с рядом серьёзных методических и технических проблем [2].

Актуальность данной темы обусловлена, с одной стороны, возросшим спросом на дистанционные образовательные программы, а с другой – необходимостью сохранения высокого качества графической подготовки будущих инженеров. Решение этой задачи требует глубокого анализа существующих проблем и разработки научно обоснованных подходов к их преодолению [3].

Методика исследования

В ходе исследования применялись методы анализа отечественной и зарубежной научно-методической литературы, посвящённой дистанционному обучению техническим дисциплинам [4, 5]. Использовался сравнительный анализ традиционных и дистанционных методов преподавания инженерной графики, а также обобщение педагогического опыта преподавателей технических вузов, применяющих цифровые образовательные технологии [6]. Рассматривались возможности современных программных платформ и инструментов для организации дистанционного обучения данной дисциплине [7].

Специфика инженерной графики как учебной дисциплины

Инженерная графика занимает особое место среди дисциплин технического образования. Её освоение предполагает не только усвоение теоретических знаний, но и формирование устойчивых практических навыков: выполнение чертежей в соответствии с требованиями конструкторской документации, работа с форматами и линиями согласно установленным стандартам [8], а также пространственное представление объектов [1]. Именно практический характер дисциплины делает её перевод в дистанционный формат особенно сложным.

Формирование пространственного мышления – одна из ключевых задач курса инженерной графики – в условиях дистанционного обучения существенно затруднено. В традиционном формате преподаватель может непосредственно наблюдать за работой студента, оперативно корректировать ошибки и давать индивидуальные рекомендации [2]. При дистанционном обучении эта возможность значительно ограничена, что требует поиска новых методических решений [4].

Основные проблемы дистанционного обучения инженерной графике

Анализ практики дистанционного преподавания инженерной графики позволяет выделить несколько групп проблем. Первая группа – методические проблемы. К ним относятся сложность организации практических занятий в онлайн-формате, трудности объяснения пространственных конструкций через экран, а также ограниченные возможности контроля самостоятельной работы [3].

Вторая группа – технические проблемы. Далеко не все студенты располагают достаточно мощными компьютерами для работы в профессиональных САПР-системах. Кроме того, нестабильное интернет-соединение может существенно затруднять участие в онлайн-занятиях и передачу графических файлов [5].

Третья группа – психологические и мотивационные проблемы. Дистанционный формат снижает уровень дисциплины и самоорганизации у части студентов, что негативно сказывается на результатах освоения практикоориентированной дисциплины [6]. Отсутствие живого контакта с преподавателем и однокурсниками снижает вовлечённость в учебный процесс [9].

Цифровые инструменты для дистанционного обучения инженерной графике

Современные технологии предоставляют широкий арсенал инструментов для организации дистанционного обучения инженерной графике. Прежде всего, это облачные версии САПР-систем, не требующие установки на локальный компьютер и доступные с любого устройства через браузер [7]. Такие решения существенно снижают технический порог входа для студентов.

Важную роль играют интерактивные образовательные платформы, позволяющие размещать видеолекции, задания и тесты. Системы управления обучением (СУО) обеспечивают структурированное прохождение курса и автоматический мониторинг успеваемости [9]. Видеоконференцсвязь позволяет проводить онлайн-консультации и разборы ошибок в режиме реального времени [4].

Перспективным направлением является применение виртуальной реальности для формирования пространственного мышления. VR-технологии позволяют студентам взаимодействовать с трёхмерными моделями в интерактивном режиме, что значительно повышает эффективность освоения графических концепций [5].

Пути решения проблем дистанционного обучения

Для преодоления методических проблем необходима разработка специализированных электронных учебно-методических комплексов по инженерной графике, адаптированных к дистанционному формату. Такие комплексы должны включать интерактивные задания, пошаговые инструкции, видеоматериалы и системы автоматической проверки выполненных работ [3].

Решению технических проблем способствует переход на облачные платформы и САПР-системы с минимальными системными требованиями. Учебным заведениям рекомендуется обеспечивать студентов доступом к необходимому программному обеспечению через корпоративные лицензии [10].

Для повышения мотивации студентов целесообразно применять элементы геймификации: рейтинги, достижения, соревновательные задания. Регулярная обратная связь со стороны преподавателя и организация онлайн-групп взаимной поддержки также способствуют поддержанию вовлечённости [6]. Оптимальным считается смешанный формат обучения, сочетающий дистанционные и очные элементы [1, 2].

Заключение

Дистанционное обучение инженерной графике представляет собой сложную педагогическую задачу, требующую системного подхода. Основные проблемы – методические, технические и мотивационные – могут быть успешно преодолены при грамотном использовании современных цифровых инструментов и адаптации содержания курса к дистанционному формату [2, 3]. Применение облачных САПР, интерактивных образовательных платформ и виртуальных лабораторий открывает новые возможности для качественной графической подготовки инженеров [7, 9]. Вместе с тем полный отказ от очного взаимодействия представляется нецелесообразным: смешанный формат обучения является наиболее эффективным решением для практикоориентированных технических дисциплин [1, 10].

Список литературы

1. Боголюбов, С. К. Инженерная графика / С. К. Боголюбов. – Москва : Машиностроение, 2021. – 352 с.

2. Чекмарев, А. А. Инженерная графика / А. А. Чекмарев. – Москва : Юрайт, 2022. – 389 с.

3. Куликов, В. П. Инженерная графика / В. П. Куликов. – Москва : Форум, 2021. – 368 с.

4. Bertoline, G. R. Fundamentals of Graphics Communication / G. R. Bertoline. – New York : McGraw-Hill, 2021. – 560 p.

5. Shih, R. H. Principles of Engineering Graphics and Design / R. H. Shih. – New York : SDC Publications, 2022. – 480 p.

6. Полат, Е. С. Современные педагогические и информационные технологии в системе образования / Е. С. Полат, М. Ю. Бухаркина. – Москва : Академия, 2020. – 368 с.

7. Bethune, J. D. Engineering Graphics with AutoCAD / J. D. Bethune. – New York : Pearson, 2020. – 672 p.
8. ГОСТ 2.307–2011. Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 30 с.
9. Андреев, А. А. Дистанционное обучение в системе высшего профессионального образования / А. А. Андреев. – Москва : МЭСИ, 2020. – 194 с.
10. Chen, Y. Distance Learning in Engineering Education: Challenges and Solutions / Y. Chen, L. Wang. – New York : Springer, 2021. – 310 p.

УДК 624.131.431.3

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Маслов С.Ю., преподаватель;
E-mail: saveli2000@gmail.com;
Иванов Д.А., д.т.н., заведующий кафедрой «Промышленная электроника»;
ORCID: 0000-0003-1344-7453;
E-mail: ivanov.da@kgeu.ru;
Кочеткова А.А., лаборант ИЦ «Компьютерное моделирование и инжиниринг в области энергетики и энергетического машиностроения» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
E-mail: azalkakarimova.16@mail.ru

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR DETERMINING SOIL MOISTURE IN THE FIELD

Maslov S.Yu., Lecturer;
E-mail: saveli2000@gmail.com;
Ivanov D.A., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Industrial Electronics;
ORCID: 0000-0003-1344-7453;
E-mail: ivanov.da@kgeu.ru;
Kochetkova A.A., Laboratory Assistant of the Computer Modeling and Engineering Center in the Field of Energy and Power Engineering, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
E-mail: azalkakarimova.16@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема оперативного и точного определения влажности грунта в полевых условиях, что критически важно для контроля качества дорожно-строительных работ. Предложен прототип измерительного устройства, основанный на резонансном диэлькометрическом методе. В качестве чувствительного элемента используется многоэлектродный коаксиально-подобный датчик, а для регистрации сдвига резонансной частоты применяется портативный векторный анализатор NanoVNA-H4. Принцип работы устройства базируется на анализе коэффициента отражения S11: резонансная частота определяется по минимуму амплитуды отраженного сигнала. Использование разработанного прототипа позволит проводить быстрый анализ влажности грунта непосредственно на месте проведения работ, исключая трудоемкие процедуры лабораторного анализа и снижая финансовые затраты.

Ключевые слова: влажность грунта, резонансный метод, диэлькометрический метод, векторный анализатор, коэффициент отражения, полевые измерения, дорожно-строительные работы

Abstract

The article discusses the problem of prompt and accurate determination of soil moisture in the field, which is critically important for quality control of road construction works. A prototype of a measuring device based on the resonant dielcometric method is proposed. A multi-electrode coaxial-like sensor is used as a sensing element, and a portable vector analyzer NanoVNA-H4 is used to record the resonance frequency shift. The principle of operation of the device is based on the analysis of the S11 reflectance coefficient: the resonant frequency is determined by the minimum amplitude of the reflected signal. The use of the developed prototype will allow for a quick analysis of soil moisture directly at the work site, eliminating laborious laboratory analysis procedures and reducing financial costs.

Keywords: soil moisture, resonance method, dielcometric method, vector analyzer, reflection coefficient, field measurements, road construction works

Введение

Надежность и долговечность любых строительных и дорожных сооружений напрямую зависят от физико-механических свойств используемого грунта. Стоит отметить, что одним из важнейших параметров, определяющих характеристики грунта, является плотность скелета грунта, которая позволяет прогнозировать возможную усадку фундаментов, оценивать несущую способность оснований и минимизировать риски деформации возводимых конструкций и сооружений [1]. Однако точность определения этого показателя в естественных условиях осложняется его высокой зависимостью от влажности, гранулометрического состава и внешних климатических факторов. При этом наибольшее влияние имеет процентное содержание влаги в грунте (влажность грунта), так как в определённом узком диапазоне дает максимальную плотность скелета грунта, а значит и максимальное уплотнение, требуемое для проведения различных строительных и дорожно-строительных работ [2]. Данная зависимость представлена на рис. 1.

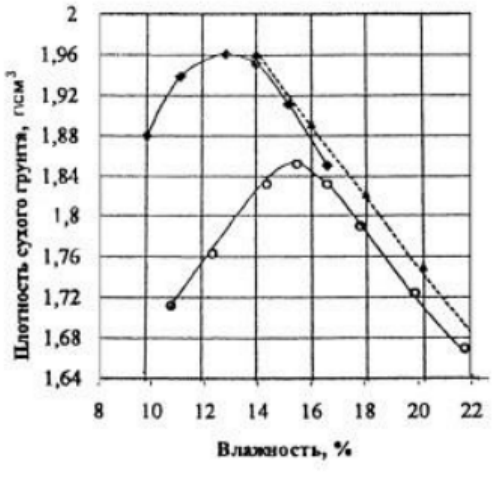


Рис. 1. График зависимости плотности скелета грунта от влажности

Существующая практика инженерно-геологических и геодезических изысканий сталкивается с технологической дилеммой. Лабораторные методы контроля (например, гравиметрический метод) обеспечивают высокую точность, но требуют отбора проб, их транспортировки и длительного времени подготовки и анализа, что исключает их оперативное применение непосредственно в измеряемых условиях. В то же время, имеющиеся на рынке переносные приборы, как правило, обладают высокой стоимостью и недостаточной для проведения работ точностью, что снижает их практическую ценность при полевом контроле качества уплотнения грунтов.

В настоящее время строительной и дорожно-строительной отрасли возникает потребность в создании доступных, компактных, быстрых и точных приборов, способных обеспечивать оперативный сбор данных в полевых условиях. В связи с этим целью настоящего исследования является разработка и обоснование перспективного метода определения влажности грунта в полевых условиях, а также создание на его основе прототипа компактного, автономного и доступного измерительного прибора.

1. Описание методики проведения измерения

С целью оперативного определения влажности грунта в разрабатываемом устройстве предполагается использовать диэлькометрический метод. Физической основой данного подхода служит строгая корреляция между диэлектрической проницаемостью среды и ее влажностью. В качестве основного инструмента выбран резонансный высокочастотный метод, регистрирующий сдвиг резонансной частоты при внесении исследуемого материала в электромагнитное поле резонатора.

Принцип действия заключается в том, что при помещении диэлектрика (грунта) в рабочую область резонатора происходит изменение его собственной резонансной частоты. При этом относительная диэлектрическая проницаемость среды (ε) рассчитывается на основе соотношения (1) [3, 4]:

$$\varepsilon = \left(\frac{f_0}{f_\varepsilon}\right)^2, \quad (1)$$

где f_0 – резонансная частота устройства (в рабочей области воздух);

f_ε – резонансная частота с диэлектриком (в рабочей области грунт).

В качестве объемного резонатора (отрезок много проводной линии передачи) используется пяти штыревой керамический датчик. Резонансная частота, которого определяется согласно соотношению (2):

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{эфф}}}, \quad (2)$$

где L – собственная индуктивность датчика;

$C_{эфф}$ – эффективная емкость, зависящая от диэлектрической проницаемости среды.

При помещении датчика в диэлектрическую среду (в рабочей области, к примеру песок) индуктивность датчика L практически не меняется, а эффективная емкость $C_{эфф}$ изменяется согласно соотношению 3:

$$C_{эфф} = C_0[1 + q(\varepsilon_{эфф} - 1)], \quad (3)$$

где c_0 – начальная емкость датчика;

q (от 0 до 1) – коэффициент заполнения поля, учитывающий, что электромагнитное поле датчика не полностью сосредоточено в грунте (часть поля уходит в окружающее пространство);

$\varepsilon_{эфф}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость.

Относительное уравнение резонанса в случае калибровки по песку, можно рассматривать для двух случаев.

Для сухого песка, согласно выражению 4:

$$f_{сух} = \frac{f_0}{\sqrt{1 + q(\varepsilon_{сух} - 1)}}, \quad (4)$$

где $f_{сух}$ – резонансная частота сухого грунта;

$\varepsilon_{сух}$ – диэлектрическая проницаемость сухого грунта.

Для влажного песка, согласно выражению 5:

$$f(W) = \frac{f_0}{\sqrt{1 + q\left(\varepsilon_{эфф}(W) - 1\right)}}, \quad (5)$$

где $f(W)$ – резонансная частота сухого грунта;

$\varepsilon_{эфф}(W)$ – диэлектрическая проницаемость влажного грунта.

Откуда, получаем соотношение 6:

$$\varepsilon_{eff}(W) = 1 + \frac{1}{q}\left[\frac{f_{сух}{}^2}{f(W)^2}\left(1 + q\left(\varepsilon_{сух} - 1\right)\right) - 1\right], \quad (6)$$

Из формулы 6 видно, что, измерив резонансную частоту сухого грунта ($f_{сух}$) и имея изменяющуюся резонансную частоту влажного грунта ($f(W)$), можно составить корреляционную зависимость влажности грунта от его диэлектрической проницаемости, в результате можно судить о влажности измеряемого образца. Стоит отметить, что для получения достоверных данных, разрабатываемый прибор первоначально необходимо откалибровать под определенный тип грунта.

2. Описание разработанного макета прибора для определения влажности грунта в полевых условиях

Разработанный прототип прибора состоит из двух основных блоков: блока обработки данных и вывода информации на экран устройства и измерительного блока. Структурная схема прототипа представлена на рис. 2.

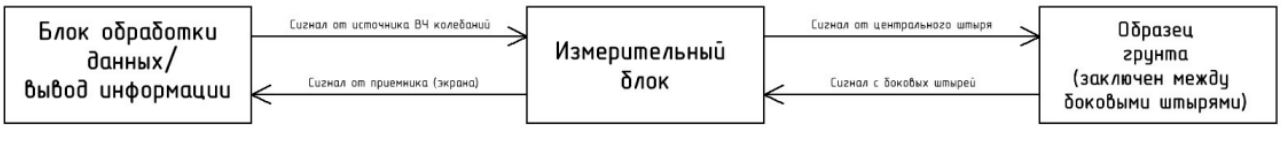


Рис. 2. Структурная схема прототипа прибора

В качестве блока обработки данных и вывода информации выступает векторный анализатор *NanoVNA-H4* [5]. Данное устройство представляет собой портативный векторный анализатор цепей, предназначенный для измерения параметров ВЧ-устройств и антенн. В процессе измерений анализатор последовательно изменяет частоту сигнала в заданном диапазоне, сравнивая амплитуду и фазу отражённого и прошедшего сигналов с опорным тестовым сигналом. Таким образом определяются параметры S11 и S21 [6]:

S11 – коэффициент отражения от входа устройства. Показывает, какая часть сигнала вернулась обратно на вход.

S21 – коэффициент обратной передачи, который показывает эффективность передачи сигнала с выхода на вход.

Для определения искомой резонансной частоты применяется коэффициент отражения (S11), так как при подаче тестового сигнала на резонансной частоте максимальная энергия передаётся в резонатор, поэтому отражённый сигнал минимален, в результате, на графике это отображается как минимум (провал) коэффициента отражения. Используя разработанное ПО, можно фиксировать данный провал на экране устройства, получая значение резонансной частоты.

Блок измерения (резонатор) представляет собой конструкцию с пятью штырями (один в центре, четыре на периферии) многоэлектродный коаксиально-подобный датчик или датчик с круговой симметрией [7], [8]. Такая конфигурация керамических штырей, имитирует коаксиальный кабель, где периферийные штыри выполняют роль экрана, запирая электрическое поле, а центральный штырь выполняет роль источника высокочастотного сигнала (рис. 3).

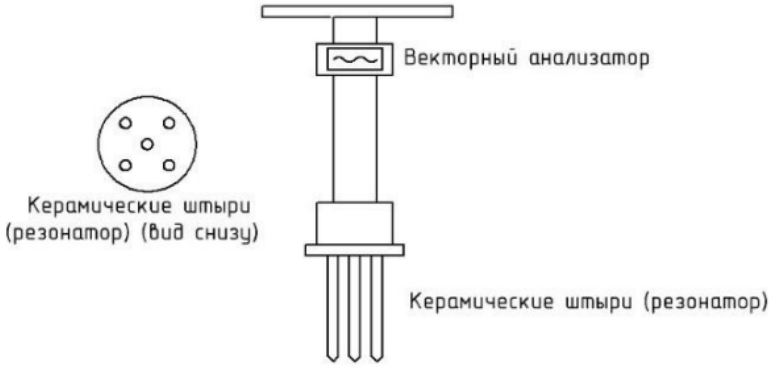


Рис. 3. Внешний вид разрабатываемого прибора
и расположение керамических штырей резонатора

Итоговое устройство представляет собой совокупность описанных выше элементов, собранных в одном корпусе. При помощи специализированного ПО и калибровочной зависимости зашитых в устройство, можно определять параметр влажности измеряемого грунта. Процесс измерения представлен на рис. 4.



Рис. 4. Процесс проведения измерений

5. Обсуждение и выводы

Разработанное прототип представляет собой готовый к эксплуатации в полевых условиях прибор, сочетающий в себе следующие качества: широкий диапазон измерений, достаточную точность измерений, низкий масса габаритный показатель. При этом благодаря разработанного ПО и интуитивно понятному интерфейсу является простым в эксплуатации.

Используемый резонансный метод измерения позволяет проводить быстрый анализ влажности грунта, без необходимости транспортировки образцов в лабораторию, что существенно снижает временны и финансовые потери при проведении анализа.

Список литературы

1. ГОСТ 22733-2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 12 с.

2. СП 78.13330.2020. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. – Москва : Минстрой России, 2020. – 145 с.

3. Zhang, P., Li, X., & Wang, Y. (2022). A review of soil moisture measurement techniques for smart agriculture and civil engineering. Sensors, 22 (15), 5678.

4. Wang, Y., Chen, Z., & Liu, H. (2022). Design of a coaxial resonator sensor for real-time soil moisture monitoring in civil engineering. Sensors and Actuators A: Physical, 335, 113389.

5. Smith, A., & Johnson, B. (2021). Portable vector network analyzers for field applications: A review of modern capabilities. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 24 (3), 12-19.

6. Loghry, M. L., & Clement, C. C. (2018). Nondestructive soil moisture sensing using vector network analysis. IEEE Sensors Journal, 18 (12), 4921-4928.

7. Gregory, A. P., Clarke, R. N., & Taylor, N. M. (2020). Coaxial probe measurements of soil permittivity in the microwave frequency range. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 69 (10), 7890-7898.

8. Liu, Z., & Zhang, X. (2023). A novel multi-pin coaxial probe for in-situ soil dielectric permittivity measurement. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 61, 1-10.

УДК 621.315.623.5

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИОННОГО БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ОПОРНО-СТЕРЖНЕВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Маслов С.Ю., преподаватель;
E-mail: saveli2000@gmail.com;
Иванов Д.А., д.т.н., заведующий кафедрой «Промышленная электроника»;
ORCID: 0000-0003-1344-7453;
E-mail: ivanov.da@kgeu.ru;
Садыков М.Ф., д.т.н., заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
E-mail: sadykov@kgeu.ru

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX DESIGNED FOR REMOTE NON-CONTACT TESTING OF SUPPORT-ROD INSULATORS

Maslov S.Yu., Lecturer;
E-mail: saveli2000@gmail.com;
Ivanov D.A., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Industrial Electronics;
ORCID: 0000-0003-1344-7453;
E-mail: ivanov.da@kgeu.ru;
Sadykov M.F., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Theoretical Foundations of Electrical Engineering, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
E-mail: sadykov@kgeu.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема технического диагностирования опорно-стержневых фарфоровых изоляторов (ОСИ) напряжением 35–500 кВ. Анализ действующего стандарта СТО 34.01-23-006-2025 выявил фундаментальные ограничения традиционных виброакустических методов (резонансного и метода возбужденных резонансных колебаний), основанных на использовании контактных пьезодатчиков и акустических модулей, критически зависимых от ветровых и электромагнитных помех. Предложена концепция программно-аппаратного

комплекса для бесконтактного экспресс-контроля внутренних дефектов ОСИ под напряжением на основе временного виброакустического метода. Методика базируется на применении лазерного виброметра в качестве бесконтактного приемника колебаний и электромагнитного возбудителя акустических колебаний. Разработано специализированное программное обеспечение для автоматической интерпретации результатов с трехуровневой цветовой индикацией технического состояния. Апробация на действующих подстанциях подтвердила работоспособность комплекса и его преимущества перед существующими методами: устойчивость к акустическим и электромагнитным помехам, возможность диагностики при ослабленных креплениях, высокая пространственная разрешающая способность.

Ключевые слова: опорно-стержневые изоляторы, виброакустический контроль, лазерная виброметрия, временной виброакустический метод, бесконтактная диагностика, высоковольтное оборудование

Abstract

The article discusses the problem of technical diagnostics of porcelain support-rod insulators (OSI) with a voltage of 35–500 kV. The analysis of the current standard STO 34.01-23-006-2025 revealed the fundamental limitations of traditional vibroacoustic methods (the resonance method and the method of excited resonance oscillations) based on the use of contact piezoelectric sensors and acoustic modules critically dependent on wind and electromagnetic interference. The concept of a software and hardware complex for non-contact express control of internal defects of the OSI under voltage based on the time-domain vibroacoustic method is proposed. The technique is based on the use of a laser vibrometer as a non-contact oscillation receiver and an electromagnetic exciter of acoustic oscillations. Specialized software has been developed for automatic interpretation of the results with a three-level color indication of the technical condition. Field trials at operating substations confirmed the performance of the complex and its advantages over existing methods: immunity to acoustic and electromagnetic interference, the possibility of diagnostics with loose fasteners, and high spatial resolution.

Keywords: support-rod insulators, vibroacoustic control, laser vibrometry, time-domain vibroacoustic method, non-contact diagnostics, high-voltage equipment

Введение

На объектах электроэнергетики, эксплуатируемых в условиях значительных динамических и климатических нагрузок, широко применяются опорно-стержневые изоляторы (ОСИ) из электротехнического фарфора классов напряжения 35–500 кВ [1]. В процессе длительной эксплуатации в структуре фарфорового тела и армировочных (клеевых) швов происходит развитие скрытых микротрещин и локальных зон ослабления прочности. Дополнительным фактором риска выступают скрытые технологические дефекты, не выявленные на этапе производства. Накопление указанных повреждений неизбежно приводит к потере несущей способности изоляционных конструкций, что является причиной аварийных отказов и механических разрушений высоковольтного оборудования, в частности разъединителей и колонковых выключателей.

В связи с этим критически важным становится внедрение систем предиктивной диагностики, позволяющих осуществлять регулярный мониторинг механической целостности ОСИ в межремонтный период. Ключевым требованием к современным диагностическим комплексам является возможность проведения высокоточного экспресс-контроля без вывода оборудования из эксплуатации, что обеспечивает минимизацию трудозатрат и исключает снижение надежности электроснабжения.

Нормативное регулирование в данной области опирается на положения СТО 34.01-23.1-001-2017 [1], регламентирующие применение виброакустического метода для выявления дефектов фарфора и армировочных швов. Для реализации дистанционного контроля на

оборудовании, находящемся под напряжением, введен в действие СТО 34.01-23-006-2025 [2]. Однако анализ действующей нормативно-технической документации показывает, что существующие методики содержат преимущественно обобщенные рекомендации. Они не в полной мере раскрывают потенциал современных средств бесконтактной виброметрии и не содержат алгоритмов обработки сигналов, способных обеспечить достоверную локализацию внутренних скрытых дефектов в условиях сильных электромагнитных и акустических помех открытых распределительных устройств (ОРУ). Применение традиционных акустических модулей, описанных в стандарте, существенно ограничивает достоверность измерений из-за высокой чувствительности к ветровым и индустриальным помехам.

Данное противоречие между потребностями практики и нормативным обеспечением обуславливает актуальность разработки новых подходов к бесконтактному экспресс-контролю. Целью настоящей работы является обоснование и разработка концепции программно-аппаратного комплекса для бесконтактной диагностики внутренних дефектов ОСИ под напряжением (до 500 кВ) на основе временного виброакустического метода. Предлагаемое техническое решение базируется на использовании лазерных виброметров в качестве бесконтактных приемников колебаний и специализированного программного обеспечения для интерпретации виброакустических сигналов, что позволяет существенно повысить достоверность оценки технического состояния изоляторов и своевременно предотвратить их аварийный выход из строя.

1. Обзор существующих методик виброакустического контроля фарфоровых изоляторов

В рамках используемого в настоящее время стандарта «СТО 34.01-23-006-2025» [2] используются два метода измерения состояния фарфоровых изоляторов электрооборудования: резонансный метод акустического неразрушающего контроля (РА-метод) и метод анализа возбужденных резонансных колебаний (ВРК).

Первый метод (РА-метод) основан на получении и анализе параметров резонансных механических колебаний путем воздействия на изолятор внешних механических вибраций с использованием контактных пьезоэлектрических датчиков/щупов. Контроль механической прочности исследуемых изоляторов происходит по анализу энергетического спектра резонансных колебаний (ЭСРК). Данный метод позволяет анализировать состояние керамических опорно-стержневых изоляторов и колонок изоляторов (включая их аналоги), используемых в электроустановках напряжением от 35 до 500 кВ, а также керамических армированных покрышек колонковых выключателей напряжением 35, 110, 150, 220 кВ [2].

Преимуществами метода являются:

1. Высокая чувствительность к изменению жесткости системы, обеспечивающая эффективное выявление увлажнений армировочных швов и неоднородностей клеевой заделки (изменение агрегатного состояния влаги в порах напрямую меняет механическую жесткость и, следовательно, сдвигает резонансные частоты ЭСРК).

Физическая основа резонансно-акустического метода в упрощенном виде базируется на модели гармонического осциллятора, собственная частота которого определяется согласно формуле (1) [3]:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (1)$$

где k – жесткость системы, m – колеблющаяся масса.

При положительной температуре ($t > 0$ °C) в микротрещины и поры клеевого шва проникает влага, вода добавляет дополнительную массу (m) в зону дефекта, при этом практически не увеличивая жесткость (k), что приводит к смещению пика ЭСРК в низкочастотную область. Кроме того, вода создает эффект вязкого демпфирования, из-за чего пики на спектре становятся более широкими и менее выраженными (снижается добротность колебаний).

В случае отрицательной температуры ($t < 0$ °C) вода замерзает, изменяя свое агрегатное состояние. Лед связывает стенки микротрещин и заполняет поры, при этом масса (m) практически не меняется, а жёсткость (k) значительно увеличивается, в результате ЭСРК смещается в высокочастотную область.

2. Надежность критериев оценки, благодаря глубокой доказательной базе для изоляторов с «эластичным» и «жестким» армировочным швом, позволяющей дифференцировать некритические и критические дефекты.

Недостатками метода являются:

1. Большая продолжительность анализа: не менее 3–4 инструментальных контролей с интервалом 4–8 месяцев при положительных и отрицательных температурах.

2. Метод требует физического контакта с нижним фланцем изолятора, что при классе напряжения 35–500 кВ создает серьезные риски поражения током и обусловливает необходимость применения специализированных изолирующих штанг, существенно усложняющих процедуру контроля.

3. Отсутствие избирательности при анализе, так как метод не способен локализовать дефекты в конкретном узле (во фланце, в клеевом шве или в теле фарфора); возможна лишь оценка общей прочности конструкции.

Второй метод (ВРК) основан на анализе распространения упругих волн и затухающих свободных колебаний после импульсного воздействия (в объекте контроля возбуждаются резонансные колебания) внутри конструкции. Контроль осуществляется по АЧХ виброускорения (при использовании датчика вибрации (ДВ)) или звукового давления (при использовании акустического модуля (АМ)). Согласно стандарту для элементов изолятора диапазон частот следующий:

1. Для металлического фланца диапазон частот от 2000 Гц до 3000 Гц;

2. Для заделки армировочного шва диапазон от 200 Гц до 600 Гц;

3. Для фарфорового тела диапазон частот от 3500 Гц до 6000 Гц [2].

Преимуществами метода являются:

1. Возможность применения метода под напряжением: акустический сигнал регистрируется АМ без отключения высоковольтных цепей.

2. Избирательность при анализе дефектов: благодаря частотному зондированию возможно оценить дефект в конкретном узле (во фланце, в клеевом шве или в теле фарфора). Изолятор является колебательной системой, состоящей из элементов с различной геометрией, массой (m) и жесткостью (k). Для каждого элемента существует определенный диапазон резонансных частот. Благодаря применению широкополосного импульсного воздействия (удара) в конструкции возбуждаются резонансные колебания во всем спектре частот.

С помощью быстрого преобразования Фурье полученный сигнал раскладывается на гармонические составляющие; анализ АЧХ в строго установленных стандартом диапазонах частот позволяет оценить состояние конкретного узла [4, 5].

3. Оперативность: для оценки состояния изолятора достаточно одной серии измерений (не менее четырёх регистраций подряд).

Недостатками метода являются:

1. Зависимость от метеорологических условий: при скорости ветра 2–5 м/с вероятность искажения полезного сигнала из-за внешних помех оценивается как высокая. Микрофон улавливает шумы и вибрацию воздуха, а не полезный сигнал.

2. Зависимость от электромагнитных помех (ЭМ). В частности, на открытом распределительном устройстве (ОРУ) напряжения 500 кВ уровень полезного сигнала сопоставим с уровнем ЭМ помех.

3. При возникновении люфта между креплением изолятора и рамой появляются паразитные низкочастотные колебания (10–40 Гц), которые искажают полезный сигнал (изменяют

граничные условия всей колебательной системы, вносят нелинейные искажения и делают невозможным применение частотного зондирования).

Анализ применяемых в стандарте методов выявил существенные ограничения их реализации на базе АМ, критически зависящих от ветровых и электромагнитных помех (в случае ОРУ на 500 кВ). Это обуславливает необходимость перехода от косвенной регистрации звукового давления в воздухе к бесконтактной лазерной доплеровской виброметрии, обеспечивающей иммунитет к внешним шумам, в сочетании с алгоритмами временного виброакустического метода. Данная методика позволяет анализировать прохождение упругой волны сквозь структуру материала для точной локализации дефектов без вывода оборудования из эксплуатации.

2. Применение виброакустического метода для регистрации дефектов

Виброакустический метод основан на излучении и приеме (фиксации в удаленной точке) упругой волны при ее прохождении через объект контроля (опорно-стержневые фарфоровые изоляторы (ОСИ) напряжением 35 кВ и выше). При наличии дефекта (трещина, расслоение, полость) часть энергии излучаемой волны отражается и рассеивается, в результате до приемника доходит лишь часть исходного сигнала (регистрируется падение амплитуды прошедшего сигнала).

Экспресс-контроль технического состояния производится комбинированным способом (контактное возбуждение упругих колебаний и бесконтактная регистрация отклика) с применением лазерного виброметра и возбудителя акустических колебаний, что позволяет производить диагностику ОСИ, находящихся в эксплуатации, без отключения электрической сети.

Метод реализуется во временной области: для анализа используется осциллограмма полученного сигнала. Оценке подлежат следующие параметры:

1. Время пробега волны – время, за которое волна доходит от возбудителя до приемника (лазера);

2. Амплитуда волнового пакета – характеризует степень затухания сигнала при прохождении через материал (коэффициент затухания);

3. Форма импульса – искажения огибающей вследствие рассеяния на неоднородности.

Описание физики процесса. Получаемый сигнал $u(x,t)$ фиксируется лазерным виброметром на расстоянии x от точки возбуждения и описывается выражением (2) [6]:

$$u(x,t) = A_0 e^{-\alpha x} f\left(t - \frac{x}{c}\right), \quad (2)$$

где A_0 – начальная амплитуда колебаний в точке возбуждения;

α – коэффициент затухания упругих волн в материале;

x – расстояние, пройденное волной (от точки возбудителя до точки измерения лазером);

f – форма исходного возбуждающего импульса;

t – время;

c – скорость распространения упругой волны в материале.

В случае неоднородности (внутреннего дефекта) увеличивается коэффициент затухания α, в результате чего происходит падение величины фиксируемого сигнала на приемнике.

Природу падения амплитуды прошедшего сигнала можно описать, используя акустический импеданс, который определяется согласно выражению (3) [6]:

$$Z = \rho c, \quad (3)$$

где ρ – плотность материала;

c – скорость звука в материале.

При этом коэффициент прохождения энергии (T) через границу двух сред с различными импедансами Z_1 (фарфор) и Z_2 (дефект) определяется выражением (4) [6]:

$$T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}, \quad (4)$$

Так как импеданс дефекта Z_2 имеет величину на несколько порядков меньше, чем импеданс фарфора Z_1, волна отражается от дефекта, не доходя до приемника, что фиксируется лазерным виброметром как резкое падение амплитуды сигнала.

Стоит отметить не менее важный параметр – время задержки сигнала τ, определяемое выражением (5) [7]:

$$\tau = \frac{L}{c}, \quad (5)$$

где L – длина пути, пройденного волной;

c – скорость распространения волны.

Наличие скрытых дефектов уменьшает эффективную скорость распространения волны c и увеличивает фактический путь L, что приводит к сдвигу времени волнового пакета $\Delta\tau$ на осциллограмме.

3. Система экспресс-контроля технического состояния фарфоровых изоляторов бесконтактным способом

В рамках статьи предложен метод экспресс-контроля технического состояния фарфоровых изоляторов бесконтактным способом с применением лазерного виброметра и возбудителя акустических колебаний. В состав системы входят основные элементы (позиции 4–7), представленные на рис. 1 [8]:

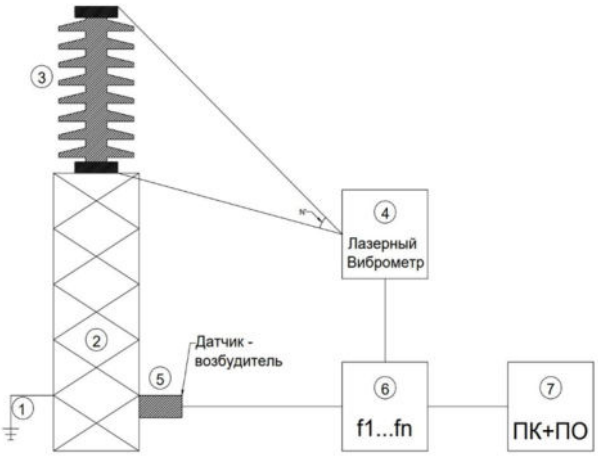


Рис. 1. Структура системы экспресс-контроля

1. Заземление;
2. Опорная конструкция (стойка изолятора);
3. Ребристый изолятор (фарфоровое тело);
4. Лазерный виброметр с видеокамерой;
5. Возбудитель с магнитным/винтовым креплением;
6. Беспроводной генератор частот/усилитель;
7. Компьютер со специализированным ПО.

Лазерный виброметр (рис. 3) устанавливается на специализированной платформе, обладающей возможностью изменения угла поворота излучателя (рис. 2).

Возбудитель (рис. 4) представляет собой электромагнитное устройство, создающее механические колебания путем подачи электрического тока на катушку. Установка производится на диагностируемые элементы конструкции оборудования (рис. 5).



Рис. 2. Платформа для установки лазера



Рис. 3. Лазерный виброметр

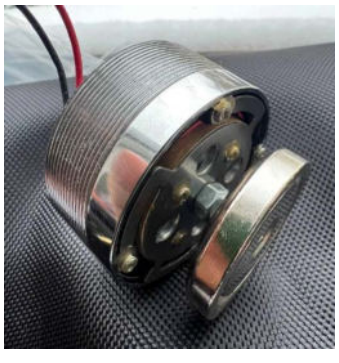


Рис. 4. Виброакустический возбудитель

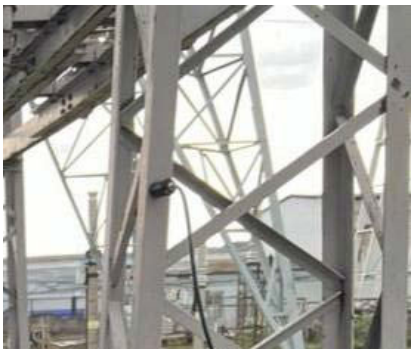


Рис. 5. Возможное место крепления возбудителя

Разработанное ПО (рис. 6–8) позволяет контролировать правильность наведения лазерного виброметра, определять расстояние до цели и снимать частотные характеристики.

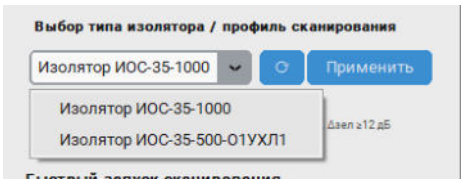


Рис. 6. Выбор типа анализируемого изолятора

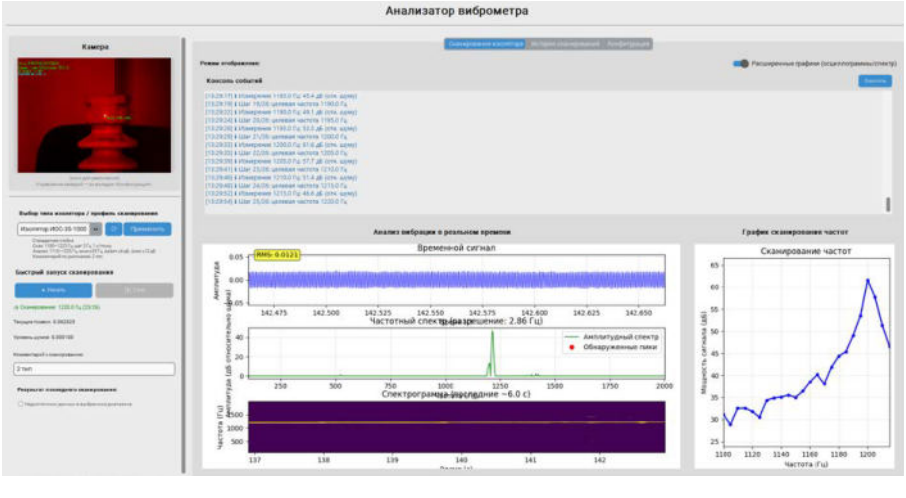


Рис. 7. Процесс проведения анализа

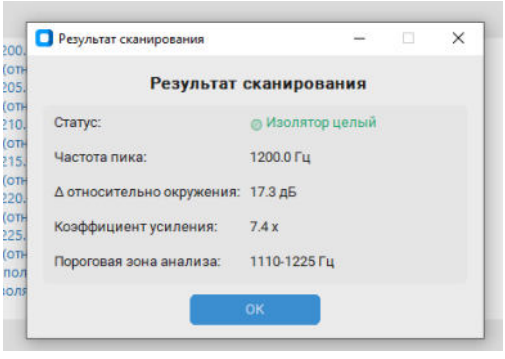


Рис. 8. Результат сканирования

В результате работы формируется отчет о сканировании с классификацией состояния изолятора по трёхуровневой цветовой шкале («зелёный» – исправен, «жёлтый» – возможен дефект, «красный» – дефект подтверждён). Программа прибора имеет графический интерфейс, состоящий из трех основных вкладок: «Сканирование изолятора», «История сканирований» и «Конфигурация». После завершения сканирования данные автоматически сохраняются и выводится окно с результатами. Результат отображается в виде цветного индикатора.

Предлагаемая методика регламентирует все этапы диагностического процесса: начиная с подготовки аппаратуры и калибровки оптического тракта и заканчивая снятием виброакустических сигналов и их автоматической интерпретацией. Ключевой функцией разработанного программного обеспечения является автоматическая классификация технического состояния изолятора на основе анализа временных и частотных реализаций сигнала, с выводом результатов в виде трёхуровневой цветовой кодировки.

4. Обсуждение и выводы

В ходе исследования разработан и апробирован программно-аппаратный комплекс (ПАК), предназначенный для дистанционного бесконтактного контроля опорно-стержневых изоляторов (ОСИ) и оценки их технического состояния без вывода оборудования из эксплуатации.

Ключевой особенностью предлагаемой методики является возможность проведения диагностики изоляторов, находящихся под рабочим напряжением в составе действующих электроустановок. Возбуждение упругих колебаний осуществляется с безопасного расстояния от токоведущих частей, а регистрация вибрационного отклика поверхности производится бесконтактным лазерным виброметром. Полученные сигналы передаются на ПК, где специализированное программное обеспечение выполняет их обработку, включая анализ амплитудно-частотных и временных характеристик, что позволяет выявлять скрытые внутренние дефекты и изменения в структуре материала.

Результаты контроля визуализируются в режиме реального времени через графический интерфейс системы. Проведенная апробация на действующих подстанциях подтвердила высокую работоспособность, помехозащищенность и практическую применимость разработанного ПАК в условиях открытых распределительных устройств.

Список литературы

1. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – Москва : ПАО «Россети», 2017.

2. СТО 34.01-23-006-2025. Методические указания по техническому диагностированию фарфоровых изоляторов электрооборудования методами акустического (виброакустического) контроля. – Москва : ПАО «Россети», 2025. – 76 с.

3. Колесников К. С. Динамика и прочность машин. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 752 с.

4. Оппенгейм А. В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов. – Москва : Техносфера, 2006. – 856 с.

5. Cooley J.W., Tukey J.W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series // Mathematics of Computation. – 1965. – Vol. 19, № 90. – P. 297–301.

6. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. – Москва : Наука, 1973. – 344 с.

7. Rothberg S.J. et al. An international review of laser Doppler vibrometry: Making light work of vibration measurement // Optics and Lasers in Engineering. – 2017. – Vol. 99. – P. 11–22.

8. Wang X. et al. Non-contact vibration measurement of high-voltage insulators using laser Doppler vibrometry // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2022. – Vol. 71. – P. 1–10.

УДК 621.311

COMPARISON OF LOAD-SMOOTHING METHODS FOR ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS IN THE CONTEXT OF POWER SECTOR DIGITALIZATION

Mitrofanov S.E., Postgraduate Student of Kazan State Power Engineering University;
ORCID: 0009-0003-5717-5944;
E-mail: mitrofanovsee@yandex.ru;
Khusnutdinov A.N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Kazan State Power Engineering University;
ORCID: 0000-0002-9226-9028;
E-mail: khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru;
Toirov O.Z., Professor, DSc, Dean of the Faculty of «Electrical engineering» of Tashkent State Technical University named after Islam Karimov;
ORCID: 0000-0003-0458-4878;
E-mail: olimjontoirov@gmail.com

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ СГЛАЖИВАНИЯ НАГРУЗКИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Митрофанов С.Е., аспирант;
ORCID: 0009-0003-5717-5944;
E-mail: mitrofanovsee@yandex.ru;
Хуснутдинов А.Н., к.т.н, доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;
ORCID: 0000-0002-9226-9028;
E-mail: khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru;
Тоиров О.З., профессор, д.т.н., декан факультета «Электротехника» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова;
ORCID: 0000-0003-0458-4878;
E-mail: olimjontoirov@gmail.com

Abstract

The development of electric vehicle charging infrastructure increases the load on distribution networks and may exacerbate existing demand peaks. This paper examines Russian and international approaches to load smoothing. The compared approaches include design-load calculation and

forecasting methods, local power balancing among charging stations, energy routers, V2G technology, integrated systems combining renewable generation and energy storage, as well as tariff incentives for shifting charging to off-peak hours.

It is shown that digital technologies can improve load forecasting accuracy, coordinate the operation of charging stations, and provide a basis for more flexible management of their electricity consumption. The considered approaches differ in their impact on the load and in the complexity of their implementation. Energy routers, V2G, and integrated systems combining energy storage and renewable generation expand load management capabilities but require more advanced technical and digital infrastructure.

Keywords: electric vehicles, charging stations, load smoothing, load forecasting, managed charging, V2G

Аннотация

Развитие зарядной инфраструктуры электромобилей увеличивает нагрузку на распределительные электрические сети и может усиливать существующие пики потребления. В статье рассматриваются российские и зарубежные подходы к сглаживанию такой нагрузки. Сравниваются определение расчётной нагрузки и методы прогнозирования, локальная балансировка мощности между зарядными станциями, энергороутеры, технология V2G, комплексные системы с возобновляемой генерацией и накопителями энергии, а также тарифное стимулирование переноса зарядки на внепиковые часы.

Показано, что цифровые технологии позволяют повысить точность прогнозирования нагрузки, координировать работу зарядных станций и создавать основу для более гибкого управления их энергопотреблением. Рассматриваемые подходы различаются по характеру воздействия на нагрузку и сложности реализации. Энергороутеры, V2G и комплексные системы с накопителями энергии и возобновляемой генерацией расширяют возможности управления нагрузкой, но требуют более развитой технической и цифровой инфраструктуры.

Ключевые слова: электромобили, зарядные станции, сглаживание нагрузки, прогнозирование нагрузки, управляемая зарядка, V2G

Introduction

The development of electric vehicle charging infrastructure increases the load on distribution networks. Not only the overall growth in electricity consumption but also the temporal distribution of charging load is important, since charging sessions may coincide with periods of peak demand in the power system. Managing such loads requires forecasting the electricity consumption of charging stations and taking into account their impact on distribution-network operating conditions [1].

The development of digital technologies expands the possibilities for such management. Charging load forecasting can take into account not only historical consumption but also temporal, geographical, technical, weather, traffic, and socioeconomic factors, as well as the operational status of charging stations [2]. Processing these data enables more accurate load forecasting, which can be used when selecting operating modes for charging infrastructure. Modern forecasting methods are increasingly based on machine learning algorithms capable of accounting for nonlinear relationships and changing operating conditions.

The need for charging load management is confirmed by an analysis of actual data from fast charging stations. A study of 154 fast charging stations in the Republic of Tatarstan from November 2024 to November 2025 showed that charging sessions occurring during system peak-demand hours accounted for 71.83% of the total energy supplied by the stations [3]. Therefore, the development of fast charging infrastructure without load management measures may intensify existing peak loads.

International studies consider several approaches to reducing the impact of charging infrastructure on the grid, including managed charging, local power balancing, energy storage systems,

V2G technology, forecast-based control, and tariff incentives [4]. Some of these solutions are directly associated with digital systems, including forecasting models, automated power distribution, and algorithms for generating control actions. In particular, machine learning methods are used to select tariff schemes that encourage charging to be shifted to off-peak hours [4, 5]. Thus, digital technologies provide tools for forecasting, coordinating, and managing charging loads, while technical and economic load-smoothing methods can be integrated within a unified control loop. The aim of this paper is to compare methods for smoothing the load generated by electric vehicle charging stations, taking into account their applicability in the context of power sector digitalization.

Methodology

The study is based on an analysis of Russian and international publications on factors shaping EV charging loads and their management. The approaches considered are grouped according to the nature of their impact on the load into calculation and forecasting, technical, energy-related, and economic methods. For each approach, the operating principle, the nature of its impact on the load, its advantages, and its main limitations were analyzed.

Main Part

Calculation and forecasting methods do not directly change the load, but allow its magnitude, temporal profile, and degree of coincidence with power system peaks to be determined. The actual electricity consumption of charging stations differs significantly from estimates based on simply summing the installed capacity of the equipment [6]. This is due to the uneven utilization of charging equipment, different charging session durations, and user behavior. Forecasting based on operational data makes it possible to take these factors into account when managing the load.

When designing charging infrastructure, its design load is determined. Russian studies have shown that the integration of charging stations into residential and public buildings requires consideration of the demand factor, simultaneity factor, and peak non-coincidence factor [7]. This helps avoid overestimating the design load and makes it possible to account for natural load-profile valleys, such as nighttime hours in residential buildings. Such calculations do not constitute active load management but are necessary for selecting charging infrastructure parameters and determining the available capacity.

Technical methods include local power balancing among several charging stations connected to a single substation. A controller distributes the available power among the stations depending on the presence of connected electric vehicles and their required charging power [8]. This method allows the allocated grid capacity to be used more efficiently without constructing new substations; however, it operates only within a local network node and does not eliminate the overall growth in electricity consumption.

Energy routers are another promising technical solution. An energy router can be considered a controllable power node between the distribution network, a charging station, an energy storage system, and renewable energy sources. Unlike a conventional transformer, it allows the direction and magnitude of power flows to be controlled. As a result, a charging station can receive energy not only directly from the grid but also from an energy storage system or a local generation source. An energy router does not by itself shift charging in time [9].

V2G is an energy-related method in which an electric vehicle is used not only as a consumer but also as a distributed energy storage resource. During periods of low load, electric vehicle batteries can be charged, while during peak periods they can supply part of the stored energy to the grid or to the internal power supply system of a facility [10]. This operating mode can reduce grid load during peak hours but requires bidirectional chargers, an appropriate regulatory framework, an economic compensation mechanism for electric vehicle owners, and consideration of battery degradation.

A more integrated approach involves coordinated management of charging load, renewable energy sources, energy storage systems, and V2G. In international studies, fast charging stations are

considered local energy hubs whose operating modes are determined taking into account forecasts of generation and charging demand [11]. Forecasting makes it possible to coordinate the operation of charging stations, energy storage systems, and generation sources. The main limitations are the complexity of implementation, the need for digital infrastructure, and the availability of controllable energy resources.

Economic methods are based on tariff incentives that encourage charging to be shifted to off-peak periods. Instead of directly limiting charging power, users are offered different electricity prices depending on the charging time. In an international study, deep reinforcement learning methods were used to determine tariff rates and the time intervals of their application in order to reduce charging-load variability over the course of the day [5]. The applicability of this approach depends on the tariff structure, user behavior, and the technical capability for differentiated metering of charging load.

The main characteristics of the considered approaches are summarized in Table 1.

Table 1

Comparison of Approaches to EV Charging Load Management

Method	Impact on load	Main advantage	Main limitation	Role of digital technologies
Design load calculation and load forecasting	Estimates load magnitude and temporal profile without directly changing the load	Supports planning and selection of operating modes	Forecast accuracy depends on available data	Data processing and load forecasting
Local power balancing	Redistributes available power among charging stations	More efficient use of allocated grid capacity	Limited to a local network node	Automated power distribution by a controller
Energy routers	Controls power flows between the grid, charging station, storage, and generation	Enables flexible redistribution of power	Does not itself shift charging in time	Digital control of power flows
V2G	Reduces grid load during peak periods by supplying stored energy	Uses EV batteries as distributed energy storage	Requires bidirectional chargers, regulation, and consideration of battery degradation	Control of charging and bidirectional power flow
Integrated RES + storage + V2G systems	Coordinates generation, storage, and charging demand	Enables coordinated use of multiple flexible energy resources	High implementation complexity	Forecasting and coordinated control
Time-of-use tariffs	Encourages users to shift charging to off-peak periods	Does not require direct restriction of charging power	Depends on user response and metering capabilities	Data-driven selection of tariff parameters

As shown in Table 1, the considered approaches differ both in the mechanism of their impact on the load and in the requirements for their implementation. Design-load calculation and forecasting

mainly support planning and decision-making, while local power balancing, V2G, and integrated energy systems provide direct or coordinated control of charging load. More advanced solutions, including energy routers, V2G, and integrated systems, offer greater flexibility but require more complex technical and digital infrastructure.

Conclusions

The approaches considered differ in how they affect the load and in the complexity of their implementation. Load forecasting and design load calculation make it possible to estimate the expected consumption profile, while local power balancing and tariff-based regulation can be used to adjust it. Energy routers, V2G, and integrated systems combining energy storage and renewable generation expand load management capabilities but require more advanced technical and digital infrastructure. The development of digital forecasting and control tools makes it possible to account more accurately for changes in charging demand and to coordinate the operation of charging infrastructure components.

References

1. Mitrofanov S. E., Khusnutdinov A. N. Review of Modern Methods for Forecasting Electric Vehicle Charging Infrastructure Load: Opportunities and Limitations. Problemy i perspektivy razvitiya energetiki: Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Kazan, 2025, pp. 332–336. (in Russian)

2. Mitrofanov S. E., Khusnutdinov A. N. Feature Space Formation for Forecasting the Energy Consumption of Electric Vehicle Charging Stations. XXIX Vserossiiskii aspirantsko-magisterskii nauchnyi seminar: Proceedings, Vol. 1, Kazan, 2025, pp. 643–645. (in Russian).

3. Mitrofanov S. E., Khusnutdinov A. N. Impact of Fast Electric Vehicle Charging Stations on Power System Peak Loads // 8th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2026.

4. Tayri A., Ma X. Grid Impacts of Electric Vehicle Charging: A Review of Challenges and Mitigation Strategies. Energies 2025, 18, 3807.

5. Kayacan A. et al. Beyond Dynamic Pricing: Discovering Fixed, Deep Reinforcement Learning-Derived Charging Policies for Electric Vehicles. Journal of Energy Storage, Volume 154, Part B, 2026.

6. Soluyanov Yu. I., Fedotov A. I., Fedotov E. A., Akhmetshin A. R. Experimental Studies of Electric Vehicle Charging Station Operation. Kibernetika energeticheskikh sistem: Proceedings of the XLVI International Scientific and Technical Conference, 2024, pp. 56–60. (in Russian).

7. Soluyanov Yu. I. et al. Determination of Design Electrical Loads of Electric Vehicle Charging Infrastructure Integrated into Electrical Installations of Residential and Public Buildings. Izvestiya vuzov. Problemy energetiki, 2024. (in Russian).

8. Cherepenkin I. V., Garifullin R. R., Pavlov A. E. Power Balancing Method for Multiple Electric Vehicle Charging Stations Supplied by a Single Substation. Tinchurinskie chteniya – 2024 "Energetika i tsifrovaya transformatsiya": Proceedings of the International Youth Scientific Conference, Kazan, 2024, pp. 361–363. (in Russian).

9. Bulatov Yu. N., Kryukov A. V., Kizhin M. V. Using Energy Routers to Connect Electric Vehicle Charging Stations. Sistemy. Metody. Tekhnologii, 2025. (in Russian).

10. Bitney V., Bulavina A., Smotrov N. Vehicle-to-grid technology as a way to align business center load schedules in Moscow's energy system. Energeticheskaya politika, № 11(202), 2024, pp. 50–67. (in Russian).

11. Ge X., Zhang X., Xu D. A Flexible Energy Scheduling Strategy for Fast Charging Stations Considering V2G of EVs and PV Uncertainty. IEEE Open Journal of Power Electronics, 2026.

УДК 550.832

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛИТОЛОГИИ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Мухаметов Т.И., студент магистратуры;
ORCID: 0009-0000-4703-0686;
E-mail: timvork03@gmail.com;
Прокопьев Н.А., доцент Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

AUTOMATED PREDICTION OF LITHOLOGY BASED ON GEOPHYSICAL SURVEY DATA OF WELLS

Mukhametov T.I., Master's Student;
ORCID: 0009-0000-4703-0686;
E-mail: timvork03@gmail.com;
Prokopyev N.A., Associate Professor, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

Аннотация

Автоматическое прогнозирование литологии по данным геофизических исследований скважин позволяет определять состав горных, являясь удобным инструментом для исследования нефтяных месторождений. Целью исследования является разработка и экспериментальная оценка модели глубокого обучения для многоклассового прогнозирования литологии по каротажным кривым и стратиграфии. В исходном наборе данных используются данные о 3404 скважинах: пять геофизических параметров, данные о стратиграфии, 20 литологических классов. Признаки были стандартизированы, преобразованы в последовательности длиной 128 точек. Архитектура модели объединяет одномерную сверточную нейронную сеть Conv1d, выделяющую локальные особенности каротажных сигналов, и двунаправленную сеть долгой краткосрочной памяти BiLSTM, которая учитывает изменение признаков по глубине выше и ниже рассматриваемой точки. Тестовая проверка выполнялась на 341 скважине, которые не использовались в обучении. Общая точность прогнозирования составила 82,74%, средняя точность по скважинам – 80,89%. По полученным результатам можно утверждать перспективность данной модели для автоматизированного прогнозирования литологии.

Ключевые слова: литология, каротажные кривые, глубокое обучение, одномерная сверточная сеть, классификация, нефтяные скважины

Abstract

Automatic lithology prediction based on well logging data allows for the determination of rock composition, providing a convenient tool for oil field exploration. The objective of this study is to develop and experimentally evaluate a deep learning model for multi-class lithology prediction based on well logs and stratigraphy. The initial dataset includes data from 3,404 wells: five geophysical parameters, stratigraphic data, and 20 lithological classes. Features were standardized and converted into 128-point sequences. The model architecture combines a one-dimensional convolutional neural

network (Conv1d), which extracts local features from well logs, and a bidirectional long short-term memory (BiLSTM) network, which accounts for feature variations with depth above and below the point in question. Test validation was performed on 341 wells not used in training. The overall prediction accuracy was 82.74%, with an average accuracy across wells of 80.89%. Based on the obtained results, it can be confirmed that this model is promising for automated lithology forecasting.

Keywords: lithology, well logging, well logs, deep learning, one-dimensional convolutional network, network, classification, oil wells

1. Введение

Определение литологического состава горных пород по данным геофизических исследований скважин является неотъемлемой частью при разработке нефтяных месторождений. Благодаря знанию литологии определенного пласта, можно понимать свойства горной породы и методы работы с ней для того, чтобы добывать полезные ископаемые максимально эффективно. Традиционно ее интерпретация выполняется вручную специалистами – геологами, а значит требует значительных временных затрат. Поэтому актуальной задачей является автоматизированное прогнозирование литологии. Предсказывают литологию по каротажным кривым ГИС (геофизическим исследованиям скважин) – набору разных кривых, которые показывают определенные свойства породы на определенной глубине.

Целью данной работы является разработка и экспериментальная проверка базовой модели автоматического прогнозирования литологии по данным ГИС. В работе предложена комбинированная нейросетевая модель на основе одномерной сверточной сети Conv1d и двунаправленной сети долгой краткосрочной памяти BiLSTM, предназначенная для прогнозирования литологии по последовательностям каротажных данных.

2. Анализ существующих подходов

Задача интерпретации данных ГИС нефтяных скважин важна, так как это позволило бы ускорить процесс анализа данных и снизить нагрузку на специалистов. Существующие подходы к автоматизированному прогнозированию литологии включают классические алгоритмы машинного обучения, ансамблевые методы и нейронные сети.

В работе [1] для прогнозирования литологии по данным ГИС используется метод K-ближайших соседей KNN. Алгоритм определяет литологический класс точки по классам наиболее близких объектов обучающей выборки, а близость оценивается с помощью евклидова расстояния. В исследовании наилучший результат был получен при $k = 5$. Метод отличается простотой и не требует сложного этапа обучения, но его качество зависит от выбора k и состава обучающей выборки. К тому же KNN не учитывает проблему дисбаланса данных – редкие классы распознаются хуже. Так же метод не учитывает данные соседних глубин при прогнозе.

В работе [2] для определения литологии по данным ГИС сравниваются несколько методов машинного обучения: Naive Bayes, SVM, Random Forest и Gradient Tree Boosting. В результате наибольшая точность оказалась у моделей Random Forest и Gradient Tree Boosting, так как они лучше учитывают нелинейные зависимости между признаками кривых ГИС и литологическими классами. Но такие способы не рассматривают значения на соседних глубинах, а рассматривают каждую точку как отдельных объект. К тому же проблема несбалансированных классов все еще не решается, так как модель чаще выбирает часто встречающиеся классы.

В работе [3] для прогнозирования литологии по данным ГИС используется метод опорных векторов SVM. Алгоритм подразумевает построение границ между литологическими классами на основе значений каротажных признаков. Для разделения классов со сложной нелинейной зависимостью используются ядерные функции. Лучшим результатом оказалась модель с радиально-базисной функцией. Несмотря на хорошие результаты, как и остальные методы, подход рассматривает точку глубины без учета соседних интервалов, поэтому модель не может видеть контекст измерений выше и ниже точки.

3. Материалы и методы

3.1. Подготовка данных

В качестве исходных данных использовались результаты геофизических исследований скважин, которые были записаны как последовательность измерений по глубине. Для прогнозирования литологии были выбраны каротажные кривые АНГК, АГК, DS, IK и BK, а также данные стратиграфической принадлежности пластов. Целевой переменной являлся литологический класс, определённый для каждой точки глубины.

В набор данных для эксперимента включались скважины, содержащие выбранные каротажные кривые и корректную стратиграфию. Из анализа исключались скважины с неполной информацией, в частности: недостаточной длиной последовательности, отсутствующими признаками и некорректными стратиграфическими данными. Строки с пропущенными значениями во входных или целевом признаках удалялись. В результате для эксперимента были отобраны 3404 скважины, содержащие 20 литологических классов.

Для подготовки входных данных выполнялась стандартизация признаков путём вычитания среднего значения и деления на стандартное отклонение. Названия литологических классов преобразовывались в числовые метки. Каротажные кривые разбивались на окна длиной 128 точек, что позволило учитывать изменение параметров в интервале глубин, а не анализировать каждую точку отдельно. Скважины поделены на выборки, представленные в табл. 1. Благодаря такому подходу интервалы одной скважины не могли бы пересекаться с другими выборками.

Таблица 1

Распределение скважин по выборкам

Выборка	Количество скважин	Доля, %
Обучающая	2723	80
Валидационная	340	10
Тестовая	341	10
Всего	3404	100

3.2. Архитектура модели Conv1d–BiLSTM

Для прогнозирования литологии использовалась комбинированная модель Conv1d–BiLSTM [4, 5], схему которой можно увидеть на рисунке 1. На её вход подавались окна длиной 128 отсчётов, включающие пять каротажных кривых и стратиграфический признак.

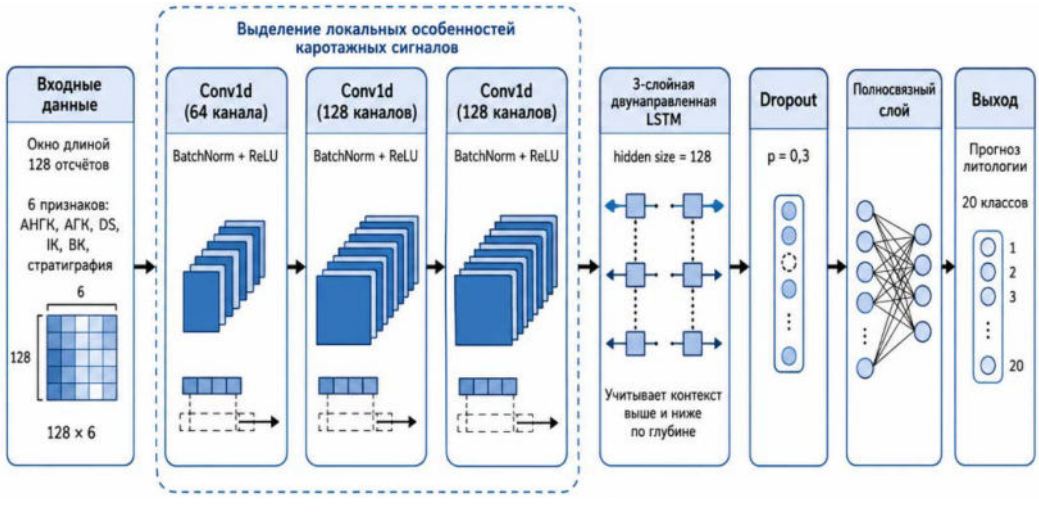


Рис. 1. Архитектура модели Conv1d–BiLSTM

Модель содержит три одномерных сверточных слоя с 64, 128 и 128 выходными каналами. После каждого слоя применяются пакетная нормализация и функция активации ReLU. Сверточная часть выделяет локальные особенности и характерные изменения каротажных кривых. Затем признаки передаются в трёхслойную двунаправленную сеть LSTM [6] со скрытым состоянием размерности 128. Она учитывает контекст выше и ниже каждого глубинного отсчёта. После слоя Dropout с коэффициентом 0,3 полносвязный слой определяет один из 20 классов литологии. Модель содержит 1 152 852 обучаемых параметра.

3.3. Схема обучения и оценки

Обучение проводилось пакетами по 32 окна. Для оптимизации использовался алгоритм Adam, а в качестве функции потерь – перекрёстная энтропия без весов классов. После каждой эпохи качество проверялось на валидационной выборке, и сохранялась модель с наибольшей точностью.

Итоговая оценка выполнялась на независимой тестовой выборке. Полные скважины обрабатывались последовательными окнами длиной 128 отсчётов, после чего прогнозы объединялись по глубине. В качестве метрик использовались Accuracy, Balanced Accuracy и Macro F1, а ошибки отдельных литологических классов анализировались с помощью матрицы ошибок.

4. Результаты эксперимента

Таблица 2

Результаты обучения модели

Эпоха	Потери на обучающей выборке	Потери на валидационной выборке	Валидационная точность
1	0,9760	0,6962	0,7712
2	0,6595	0,5861	0,8135
3	0,6435	0,6136	0,8017

Таблица 3

Качество прогнозирования на полных тестовых скважинах

Метрика	Значение
Accuracy	0,8274
Balanced Accuracy	0,3459
Macro F1	0,3477
Средняя Accuracy по скважинам	0,8089

В ходе эксперимента модель Conv1d–BiLSTM обучалась в течение трёх эпох. Наилучший результат на валидационной выборке был получен после второй эпохи: точность составила 0,8135 при значении функции потерь 0,5861. На третьей эпохе точность снизилась до 0,8017, поэтому для итоговой оценки была сохранена модель второй эпохи. Детально информацию по эпохам можно посмотреть в табл. 2. Результаты итоговой оценки приведены в табл. 3. Таким образом, модель правильно определила литологический класс для 82,74% всех тестовых отсчётов.

5. Заключение

В работе представлена модель Conv1d–BiLSTM для прогнозирования литологии по данным ГИС. На независимой тестовой выборке общая точность классификации составила 82,74%, что подтверждает перспективность выбранного подхода.

Полученные результаты могут служить основой для дальнейшего совершенствования модели. Учёт дисбаланса классов и настройка параметров позволят повысить качество распознавания редких типов пород и расширить возможности автоматизированной интерпретации каротажных данных.

Список литературы

1. Lithology prediction using K-nearest neighbors (KNN) algorithm: study case in Upper Cibulakan Formation / E. Komara, M. F. Nugraha, M. Rafi, W. Lestari // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2024. – Vol. 1418, № 1. – Art. 012062. – DOI: 10.1088/1755-1315/1418/1/012062.

2. Evaluation of machine learning methods for formation lithology identification: a comparison of tuning processes and model performances / Y. Xie, C. Zhu, W. Zhou [et al.] // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2018. – Vol. 160. – P. 182–193. – DOI: 10.1016/j.petrol.2017.10.028.

3. Support vector machine method, a new technique for lithology prediction in an Iranian heterogeneous carbonate reservoir using petrophysical well logs / M. A. Sebtosheikh, R. Motafakkerfard, M. A. Riahi [et al.] // Carbonates and Evaporites. – 2015. – Vol. 30, № 1. – P. 59–68. – DOI: 10.1007/s13146-014-0199-0.

4. Liu J.-J. Integrating deep learning and logging data analytics for lithofacies classification and 3D modeling of tight sandstone reservoirs / J.-J. Liu, J.-C. Liu // Geoscience Frontiers. – 2022. – Vol. 13, № 1. – Art. 101311. – DOI: 10.1016/j.gsf.2021.101311.

5. Single-well lithofacies identification based on logging response and convolutional neural network / Z. Li, P. Li, Z. Liu, Y. Cui // Journal of Applied Geophysics. – 2022. – Vol. 207. – Art. 104865. – DOI: 10.1016/j.jappgeo.2022.104865.

6. Hochreiter S. Long short-term memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, № 8. – P. 1735–1780. – DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.

УДК 004.896:004.932:551.510.4

ГЕНЕРАЦИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЕТЕКЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭМИССИИ МЕТАНА

Никитин О.В., к.г.н., доцент, ведущий аналитик данных;
ORCID: 0000-0002-6753-0597;
Кузьмин Р.С., директор;
ORCID: 0009-0007-5491-1167;
Кузьмин М.Р, специалист по информационным системам ООО «Экоаудит», г. Москва, Россия;
ORCID: 0009-0005-5186-7266

MULTISPECTRAL SYNTHETIC DATA GENERATION: ENHANCING NEURAL NETWORK TRAINING FOR METHANE POINT SOURCE DETECTION

Nikitin O.V., PhD in Geography, Associate Professor, Lead Data Analyst;
ORCID: 0000-0002-6753-0597;
Kuzmin R.S., director;
ORCID: 0009-0007-5491-1167;
Kuzmin M.R., Information Systems Specialist, Ekoaudit LLC, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0005-5186-7266

Аннотация

Эффективное применение моделей искусственного интеллекта для автоматического мониторинга утечек метана (CH_4) по материалам дистанционного зондирования Земли среднего разрешения (Sentinel-2) ограничено критической нехваткой верифицированных обучающих выборок, особенно применительно к территории Российской Федерации, для которой характерны сложный биогенный фон (водно-болотные территории) и оптическая неоднородность мозаичных ландшафтов, затрудняющие выделение слабого спектрального сигнала CH_4 на фоне альбедо подстилающей поверхности. В работе предложен подход сквозной генерации мультиспектральных синтетических данных путём внедрения физически обоснованных газовых шлейфов в реальные спутниковые снимки, свободные от аномалий. Пространственная геометрия и концентрация CH_4 в факеле рассчитываются на основе стационарной диффузионной модели Гаусса, адаптированной под метеоданные реанализа ERA5-Land, а спектральный отклик в диапазоне SWIR формируется в соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера. На момент подготовки статьи сформирована обучающая выборка объёмом свыше 100 000 размеченных примеров – что больше объёма открытых верифицированных датасетов; обучение нейросетевых моделей на её основе начато и показывает результаты, приближающиеся к целевым метрикам качества. Методика реализуется в рамках создаваемой облачной GeoAI-платформы «Геосфера-Интегра», предназначенной для автоматического мониторинга парниковых газов и природно-климатических рисков промышленных объектов, и закладывает основу для импортонезависимых инструментов экологического мониторинга и контроля парниковых газов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, метан, детекция шлейфов, Sentinel-2, SWIR, синтетические данные, закон Бугера – Ламберта – Бера, модель Гаусса, GeoAI, компьютерное зрение

Abstract

The effective application of artificial intelligence models for automated monitoring of methane (CH_4) leaks using medium-resolution Earth observation data (Sentinel-2) is limited by a critical shortage of verified training samples, particularly for the territory of the Russian Federation. This region is characterized by a complex biogenic background (wetlands) and optical heterogeneity of mosaic landscapes, which hinder the extraction of a weak CH_4 spectral signal from the underlying surface albedo noise. This paper proposes an end-to-end multispectral synthetic data generation approach by embedding physically consistent gas plumes into real, anomaly-free satellite imagery. The spatial geometry and CH_4 concentration within the plume are calculated based on a steady-state Gaussian dispersion model adapted to the ERA5-Land meteorological reanalysis data, while the spectral response in the SWIR range is generated in accordance with the Beer–Lambert–Bouguer law. At the time of publication, a training dataset of over 100,000 labeled patches has been generated, which exceeds the volume of open verified datasets; neural network training on this dataset has commenced and shows results approaching the target quality metrics. The methodology is implemented within the cloud-based GeoAI platform Geosphera-Integra, designed for automated monitoring of greenhouse gases and climate risks at industrial sites, and lays the foundation for sovereign environmental monitoring and greenhouse gas control tools.

Keywords: Earth observation, methane, plume detection, Sentinel-2, SWIR, synthetic data, Beer–Lambert–Bouguer law, Gaussian dispersion model, GeoAI, computer vision

Введение

Сокращение антропогенной эмиссии метана (CH_4) признаётся одной из наиболее эффективных краткосрочных мер по замедлению глобального потепления: потенциал глобального потепления CH_4 на 20-летнем горизонте примерно в 80 раз превышает аналогичный показатель для CO_2 [1]. Вступление в силу Федерального закона № 296-ФЗ и развитие регуля-

торной базы в рамках Сахалинского эксперимента формируют в Российской Федерации (РФ) нормативные предпосылки для перехода к обязательной углеродной отчётности и развитию институтов её независимой верификации [2].

Традиционные методы контроля утечек (пешие и автомобильные обходы, облёты БПЛА) плохо масштабируются на распределённой инфраструктуре протяжённостью в тысячи километров. Альтернативой выступают методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): для локализации точечных источников с точностью порядка 200 м наиболее перспективны мультиспектральные данные среднего пространственного разрешения в диапазоне SWIR (20–30 м/пиксель) со спутников Sentinel-2 и Landsat-8/9 [3].

Современные системы детекции смещаются от пороговых алгоритмов к сквозным моделям компьютерного зрения – свёрточным сетям (U-Net) и трансформерам (ViT). Их обучение, однако, сдерживается «голодом данных»: открытые размеченные датасеты (CH4Net, MARS-S2L) относятся преимущественно к регионам аридных зон (Пермский бассейн США, Туркменистан, Северная Африка). Обучение моделей на таких выборках базируется на высоком альбедо и спектральной однородности подстилающей поверхности. Это делает алгоритмы малоэффективными в условиях мозаичных ландшафтов РФ, где высокая оптическая неоднородность территории, в т.ч. вызываемая мозаичностью переувлажненных ландшафтов (водно-болотных комплексов) приводит к обилию ложных срабатываний из-за спектрального шума.

1.1. Существующие подходы к детекции точечных источников

Спутниковые системы наблюдения CH_4 принято разделять на две взаимодополняющие категории [1]: площадные картографы потоков (area flux mappers) – приборы среднего и низкого пространственного разрешения (0,1–10 км), обеспечивающие точную (погрешность <1%) оценку суммарных потоков на региональном и глобальном уровнях (TROPOMI, GOSAT), и точечные визуализаторы источников (point source imagers) – приборы с разрешением менее 60 м, предназначенные для картирования отдельных шлейфов (GHGSat, PRISMA, Sentinel-2, Landsat). Согласно систематическому обзору [1], пороги детекции точечных визуализаторов варьируются на порядки: от 100 кг/ч у GHGSat и Carbon Mapper (за счёт прицельной съёмки и узкой спектральной полосы) до 1800–25 000 кг/ч у многоспектральных приборов Sentinel-2 и Landsat при использовании стандартных методов извлечения сигнала без машинного обучения (где верхняя граница порога обусловлена сильной неоднородностью подстилающей поверхности) [3]. Настоящая работа нацелена на существенное снижение этого порога для Sentinel-2 именно за счёт применения глубокого обучения, что переводит общедоступный многоспектральный инструмент в категорию, сопоставимую по чувствительности с узкоспециализированными коммерческими системами.

До появления методов глубокого обучения детекция утечек CH_4 в данных мультиспектральных спутников опиралась на пороговые алгоритмы сравнения спектральных каналов SWIR. Метод многополосного двухпроходного сравнения (Multi-Band Multi-Pass, MBMP) использует комбинацию каналов B11 и B12 в сопоставлении с архивной (референтной) съёмкой той же сцены для фильтрации вклада подстилающей поверхности [3]; количественная оценка расхода источника при этом обычно выполняется независимо, например методом интегральной массы шлейфа (Integrated Mass Enhancement, IME) [4]. Дальнейшее развитие подхода, основанное на регулярном (каждые 2–5 суток) отслеживании повторных пролётов Sentinel-2 над известными объектами нефтегазовой инфраструктуры, позволило выявлять устойчивые утечки в глобальном масштабе.

Существенным ограничением пороговых методов является достижимый порог чувствительности: по данным систематических обзоров, детекция по данным Sentinel-2 без применения машинного обучения устойчиво работает для утечек мощностью от 1–4 т/ч и выше, при этом наиболее крупные точечные источники («супер-эмиттеры») вносят непропорционально большой вклад в суммарный баланс выбросов. Пороговые методы также чувствитель-

ны к спектрально неоднородным подстилающим поверхностям и требуют, как правило, ручной верификации обнаруженных аномалий.

Переход к сквозным моделям компьютерного зрения, обучаемым на синтетических данных, впервые устранил указанное ограничение на порядок величины: в работе [5] показано, что архитектура на основе архитектур трансформеров (Vision Transformer, ViT), обученная на гауссовых шлейфах, внедрённых по закону Бугера – Ламберта – Бера в реальные сцены Sentinel-2, обеспечивает надёжную детекцию утечек мощностью от 200–300 кг/ч – на порядок ниже порога классических методов, при частоте ложных срабатываний менее 0,03 % на уровне пикселя. Аналогичные результаты по автоматизации детекции шлейфов на основе глубокого обучения получены для гиперспектральных данных PRISMA с применением свёрточных сетей. Настоящая работа опирается на концепцию физически обоснованного внедрения целевого сигнала, адаптированную к территории и ландшафтам РФ.

Цель настоящей работы – представить методику генерации физически обоснованных мультиспектральных синтетических данных для обучения ИИ-моделей детекции утечек CH_4, адаптированную к условиям российских мозаичных ландшафтов, локальным сценам Sentinel-2 и региональным метеорологическим данным. Методика ориентирована на снижение зависимости от дефицита локальных размеченных выборок и создание масштабного обучающего набора для последующей автоматической детекции точечных источников CH_4. Работа выполняется в рамках создания облачной GeoAI-платформы «Геосфера-Интегра», предназначенной для автоматического мониторинга парниковых газов и природно-климатических рисков промышленных объектов.

2. Методология моделирования

Методика основана на интеграции физически обоснованной модели газового шлейфа в реальные («чистые») спутниковые сцены, что позволяет обучать модель распознавать спектральный отклик CH_4 на фоне подлинных текстур ландшафтов РФ. Процесс включает два последовательных этапа: расчёт поля концентраций (перенос примеси в атмосфере) и расчёт радиационного отклика (перенос излучения).

2.1. Расчёт поля концентраций (гауссово приближение)

Для оценки избыточного содержания CH_4 в столбе атмосферы от точечного источника используется интегрированная по вертикали стационарная гауссова модель факела рассеяния примеси:

$$\Delta X_{CH_4}(x,y) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\cdot u\cdot\sigma_y(x)} \cdot exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y(x)^2}\right] \quad (1)$$

где Q – массовый дебит источника, выраженный в кг/с (для формирования сбалансированной выборки варьировался в диапазоне от 0,056 до 0,556 кг/с, что соответствует 200–2000 кг/ч); u – скорость приземного ветра, азимут которого задаёт направление переноса шлейфа; $\acute{o}_y(x)$ – горизонтальный коэффициент дисперсии (м), определяемый расстоянием от источника x вдоль оси ветра и классом устойчивости атмосферы по шкале Паскуилла-Гиффорда. Параметры ветра извлекаются из реанализа ERA5-Land для конкретной территории и сезона (модуль CLIMATERA: WIND, свидетельство № 2024614325). Такое аналитическое представление, являющееся результатом точного вертикального интегрирования гауссовой модели факела, исключает необходимость численного интегрирования по слоям атмосферы и напрямую задаёт избыточное содержание газа в столбе (кг/м^2 или пересчитанное в ppm·м). Использование упрощённой формы (1) вместо полной трёхмерной модели обосновано тем, что спутниковый спектрометр регистрирует именно интегральное содержание газа в столбе, а не его вертикальное распределение.

2.2. Расчёт радиационного отклика (закон Бугера – Ламберта – Бера)

Спектральный отклик газовой аномалии в каналах SWIR спутника Sentinel-2 (B11 – 1610 нм, B12 – 2190 нм) моделируется в приближении закона Бугера – Ламберта – Бера с учё-

том геометрии освещения (двукратного прохождения излучения через шлейф). Изменение регистрируемого коэффициента отражения в присутствии газа описывается выражением:

$$R_{syn}(\lambda, x, y) = R_{clear}(\lambda, x, y) \cdot exp\left[-k_{eff}(\lambda) \cdot \Delta X_{CH_4}(x, y) \cdot \left(\frac{1}{cos\theta_0} + \frac{1}{cos\theta}\right)\right], \quad (2)$$

где R_{clear} – значение пикселя на исходном («чистом») снимке; $k_{eff}(\dot{e})$ – эффективный коэффициент поглощения CH_4 для спектрального канала спутника, рассчитанный по спектроскопической базе HITRAN [6]; $\check{c}_0$ и $\check{c}$ – зенитные углы Солнца и визирования спутника соответственно, извлекаемые из метаданных снимка; R_{syn} – синтезированное значение, имитирующее наличие реального шлейфа. Множитель $(1/cos\check{c}_0 + 1/cos\check{c})$ представляет собой геометрический фактор воздушной массы (Air Mass Factor, AMF), учитывающий удлинение оптического пути при наклонном падении и регистрации излучения. Для Sentinel-2, работающего преимущественно в надирном режиме, угол визирования $\check{c}$ близок к нулю ($cos\check{c} \approx 1$), однако учёт зенитного угла Солнца $\check{c}_0$ является критически важным для территорий умеренных и высоких широт, особенно в осенне-весенний период, когда Солнце находится низко над горизонтом и оптический путь в атмосфере существенно удлиняется.

Принципиально важно, что расчёт выполняется на снимках уровня обработки L1C (спектральная яркость на верхней границе атмосферы, Top-of-Atmosphere, TOA), а не L2A (приведённое к поверхности отражение после атмосферной коррекции), так как стандартные алгоритмы атмосферной коррекции Sentinel-2 (Sen2Cor) частично компенсируют полосы газового поглощения, в том числе в интересующем нас диапазоне CH_4 в каналах B11/B12, что исказило бы физически значимый сигнал и сделало бы применение формулы (2) некорректным.

2.3. Алгоритм внедрения и аугментации

Генерация одного обучающего примера реализована в виде стохастического пайплайна: 1) из архива безоблачных сцен Sentinel-2 (уровень обработки L1C) над объектами топливно-энергетического комплекса РФ извлекается случайный патч фиксированного размера (123×123 пикселя, что соответствует линейному размеру ~2,5 км при разрешении 20 м); 2) в случайную точку патча помещается виртуальный точечный источник, инициализируются параметры дебита и ветра; 3) по формуле (1) рассчитывается двумерное поле концентрации $ÄXCH_4$, которое по формуле (2) применяется к каналу B12 (основному спектральному каналу Sentinel-2, чувствительному к поглощению метаном, в соответствии с методологией [5]; вклад канала B11, обладающего значительно меньшей чувствительностью, не учитывается); 4) добавляется контролируемый гауссов шум, имитирующий инструментальную погрешность сенсора; 5) формируется бинарная маска шлейфа (Ground Truth), полностью свободная от ошибок ручной разметки, поскольку строится по известным параметрам синтеза.

Программная реализация пайплайна выполнена на языке Python с использованием библиотек NumPy, Rasterio и SciPy для геопространственной обработки растров и физических расчётов. Конкретные значения гиперпараметров генерации (распределения дебита, высоты источника, классов устойчивости атмосферы) и детали программной реализации отнесены авторами к ноу-хау и в настоящей публикации не раскрываются.

2.4. Количественная оценка дебита источника

Помимо задачи детекции и локализации шлейфа, практическую ценность представляет обратная задача – оценка массового дебита источника Q (кг/ч) по наблюдаемой аномалии столбового содержания CH_4. В систематическом обзоре [1] сопоставлены семь основных методов решения этой задачи, из которых для точечных визуализаторов наиболее распространены три: 1) прямая подгонка гауссовой модели шлейфа, в которой Q определяется аналитически через измеренную аномалию, эмпирический параметр дисперсии $\acute{o}_y(x)$ и скорость ветра u; 2) метод интегральной массы шлейфа (IME), в котором Q рассчитывается через общую массу избыточного CH_4 в шлейфе, характерный линейный размер L и эффективную скорость ве-

тра u_{eff}, параметризуемую по данным крупномасштабного моделирования турбулентности [4]; 3) метод потока через поперечное сечение (CSF), рассчитывающий Q как произведение аномалии концентрации и скорости ветра, проинтегрированное по ширине шлейфа поперёк направления переноса.

Все три метода требуют независимой информации о скорости ветра, что является основным источником погрешности: согласно [1, 4], зависимость от точности данных о ветре ограничивает достижимую точность оценки дебита на уровне около 30 % даже при благоприятных условиях. Разрабатываемый модуль количественной оценки выбросов платформы «Геосфера-Интегра» (свидетельство 2023688757) использует первый из перечисленных подходов – аналитическую инверсию гауссовой модели (1), симметричную по своей структуре генеративной модели, применяемой для синтеза обучающих данных (см. раздел 2.1), с параметрами ветра из реанализа ERA5-Land. Такая симметрия между генеративной и инверсионной частями пайплайна методологически оправдана: модель, использованная для создания обучающей выборки, применяется затем и для интерпретации результатов детекции. Для количественной оценки неопределённости расчёта, вызванной как погрешностью локализации источника, так и погрешностью метеорологических данных, используется ресемплинг методом Bootstrap, что соответствует установленным в отраслевой практике требованиям к отчётности об уровне достоверности инверсионных оценок [1].

Отметим также, что оценка объёма выброса по мгновенному снимку осложняется прерывистостью реальных утечек: по данным авиационных обследований, отдельные точечные источники демонстрируют детектируемую эмиссию в среднем не более 20–26 % времени наблюдения, что обусловливает необходимость многократных повторных наблюдений для надёжной характеризации среднегодового дебита конкретного объекта. Для решения этой задачи в архитектуре платформы «Геосфера-Интегра» предусмотрен модуль накопления временных рядов детекций на базе специализированной СУБД TimescaleDB и их последующего статистического анализа.

3. Формирование датасета и архитектура ИИ

3.1. Стратегия формирования гибридного датасета

На основе описанного пайплайна сформирована сбалансированная выборка со следующими характеристиками:

– источник данных – снимки Sentinel-2 уровня обработки L1C (TOA-отражение, без атмосферной коррекции – см. раздел 2.2) за 2019–2026 гг. над промышленными кластерами Приволжского федерального округа;

– размер патча – 123×123 пикселя (~2,5 км по стороне), сформированный из 10 спектральных каналов в едином пространственном разрешении 20 м;

– балансировка классов – 50 % патчей содержат внедрённый (синтезированный) шлейф (дебит 200–2000 кг/ч), 50 % являются «чистыми» примерами (True Negative) для снижения доли ложных срабатываний, в том числе на фоне сходных по спектральному отклику объектов (грунт, дорожное покрытие);

– объём выборки – на момент подготовки публикации сформировано свыше 100 000 патчей, разделённых в пропорции 70/15/15 на обучающую, валидационную и тестовую подвыборки; генерация продолжается, приоритет отдаётся расширению разнообразия форм подстилающей поверхности и сезонных условий съёмки. Для сравнения, крупнейшие открытые верифицированные датасеты на порядок меньше по объёму и требуют ручной экспертной разметки: CH4Net содержит 925 вручную размеченных масок шлейфов [8], а MARS-S2L – порядка 87 000 изображений с более чем 5500 верифицированными выбросами (UNEP IMEO). Предложенный синтетический пайплайн, не требующий ручной разметки, обеспечивает сопоставимый и уже превосходящий по объёму набор данных при полном контроле баланса классов и параметров источника.

3.2. Архитектуры нейросетевых моделей

В составе GeoAI-ядра платформы для решения задачи попиксельной сегментации шлейфов апробированы три архитектуры компьютерного зрения на базе классической схемы кодировщик-декодировщик U-Net [7], различающиеся реализацией энкодера:

U-Net (базовая свёрточная реализация) – используется в качестве основной модели уровня L2 (детекция шлейфов мощностью свыше 3 т/ч) при сопоставлении с открытым бенчмарком CH4Net, обучение проводится на комбинированной функции потерь Dice + BCE (Dice Loss + Binary Cross-Entropy) для компенсации дисбаланса классов (малая площадь шлейфа относительно фона).

ResUNet – модификация U-Net с заменой энкодера на предобученную свёрточную сеть ResNet-34. Она используется как вспомогательная модель для быстрой проверки рабочих гипотез (изменение состава входных каналов, схемы аугментации, функции потерь) и отладки пайплайна обучения. Использование механизма остаточных связей (residual connections) в сочетании с переносом знаний (transfer learning) от предобученного на больших выборках энкодера обеспечивает кратно более быструю сходимость по сравнению с базовой конфигурацией U-Net. Это позволяет оперативно оценивать эффективность архитектурных изменений и экономить вычислительные ресурсы на итеративных этапах разработки перед постановкой полномасштабного эксперимента.

Гибридная архитектура ViT-энкодер + U-Net-декодер (по типу UNETR) – кодировщик на основе механизма многоголового внимания (Vision Transformer, ViT) заменяет свёрточную часть, а декодирование выполняется последовательными операциями транспонированной свёртки [5]. Глобальный рецептивный охват трансформера теоретически позволяет выделять более слабый спектральный сигнал поглощения на фоне шума подстилающей поверхности, что рассматривается как перспективное направление для снижения порога детекции до целевых 2 т/ч. На данном этапе эта архитектура уступает классической U-Net по соотношению «качество/время обучения» из-за высокой вычислительной сложности механизмов самовнимания (Self-Attention) и требует дальнейшей оптимизации в рамках доступного авторам вычислительного бюджета.

Точные значения гиперпараметров всех трёх архитектур (глубина, число голов внимания, размер эмбеддинга, схема аугментации) и веса обученных моделей составляют коммерческую тайну авторов и не приводятся.

3.3. Целевые метрики качества

Для оценки моделей на тестовой подвыборке приняты метрики, соответствующие уровню бенчмарка CH4Net: IoU (индекс Жаккара) ≥ 0,55; F1-score ≥ 0,55; Recall ≥ 0,80 при Precision ≥ 0,30. Высокий целевой уровень полноты (Recall) при умеренном пороге точности (Precision) обусловлен спецификой задачи: для первичного автоматического скрининга критически важно не пропустить шлейф выброса, в то время как краевые ложноположительные пиксели могут быть отфильтрованы на последующих этапах анализа.

4. Текущие результаты и дальнейшие направления работы

На момент подготовки настоящей публикации полностью реализован и отлажен программный пайплайн генерации синтетических обучающих примеров: автоматизированные модули расчёта гауссова шлейфа, радиационного отклика по закону Бугера – Ламберта – Бера, его внедрения в архивные снимки Sentinel-2 L1C и балансировки классов работают в устойчивом режиме и обеспечили формирование выборки объёмом свыше 100 000 размеченных патчей (раздел 3.1).

Обучение нейросетевых моделей на сформированном датасете начато; на предварительных экспериментах архитектура U-Net приближается к целевым метрикам качества, сопоставимым с мировым бенчмарком CH4Net (раздел 3.3), однако устойчивый результат, готовый к включению в продуктивный контур платформы, пока не получен. Для его достижения в рамках выполнения НИОКР запланированы:

1) дальнейшее наращивание и диверсификация синтетической выборки – в первую очередь по разнообразию форм подстилающей поверхности (различные типы промышленных объектов, грунтов, сельхозугодий) и сезонных условий съёмки (вариации увлажненности почвы, вегетационный период);

2) систематический подбор гиперпараметров архитектур и схем аугментации;

3) сравнительная валидация на открытых датасетах CH4Net и MARS-S2L;

4) дообучение и верификация моделей на данных контролируемых выбросов при появлении доступа к соответствующим наборам.

Применение синтетических данных, внедряемых по описанной методике, по замыслу авторов должно обеспечивать:

1) возможность обучения моделей в условиях фактического отсутствия локальной базы зафиксированных аварийных утечек;

2) снижение доли ложных срабатываний за счёт того, что модель обучается отличать физически обоснованную структуру шлейфа (форма которого определяется полем ветра) от спектрально схожих, но не связанных с газом объектов;

3) распознавание шлейфов мощностью от 2 т/ч с точностью локализации источника не хуже 200 м. Количественное подтверждение этих ожиданий на полном датасете – предмет продолжающейся работы.

Отдельно отметим методологическое ограничение подхода: поскольку синтетические примеры генерируются по детерминированной физической модели, качество обучения напрямую зависит от репрезентативности используемых архивов «чистых» сцен и корректности метеорологического реанализа. Снижение указанных рисков обеспечивается запланированным дообучением моделей на открытых верификационных датасетах CH4Net и MARS-S2L, а также последующей калибровкой по наземным измерениям (модуль INTEGRICAL, свидетельство № 2023688423), что выходит за рамки настоящей статьи.

5. Место методики в иерархической архитектуре платформы «Геосфера-Интегра»

Описанная методика генерации синтетических данных выступает одним из компонентов более широкой, иерархической (четырёхуровневой) архитектуры мониторинга выбросов CH_4, реализуемой в рамках платформы «Геосфера-Интегра» и объединяющей наблюдения разного пространственного масштаба:

L1 (региональный уровень). Оценка суммарного потока CH_4 для города или региона методом масс-баланса по данным TROPOMI (реанализ ERA5 используется для расчёта переноса) с фоновой концентрацией, определяемой статистически [2, 9, 10]; результат – верификация кадастров выбросов (EDGAR, CAMS EAC4).

L2 (детекция крупных шлейфов, свыше 3 т/ч). Попиксельная сегментация шлейфов на снимках Sentinel-2 нейросетевой моделью U-Net (см. раздел 3.2), обучаемой на открытом датасете CH4Net; для первичного скрининга дополнительно применяется пороговый метод MBMP.

L3 (детекция малых утечек, целевой порог 2 т/ч). Задача, на решение которой направлена настоящая работа: снижение порога детекции за счёт обучения на синтетических данных (разделы 2–3) с последующим дообучением на открытом датасете MARS-S2L.

L4 (калибровка и верификация). Пересчёт спутниковых оценок газов-маркеров промышленных выбросов и индикаторов природного биогенного фона (NO_2, CO, HCHO) в приземные концентрации по наземным данным (сеть АСКЗА, УГМС, карбоновый полигон «Карбон-Поволжье») с использованием зарегистрированного алгоритма авторов INTEGRICAL.

Конкретные архитектурные и алгоритмические детали реализации уровней L1–L4, включая гиперпараметры моделей и правила слияния разноуровневых оценок, составляют ноу-хау платформы и в настоящей статье не раскрываются; приведённое описание носит исключительно общеархитектурный характер.

Заключение

В работе представлена методика сквозной генерации мультиспектральных синтетических данных ДЗЗ для обучения нейросетевых моделей детекции утечек CH_4, основанная

на интеграции гауссовой модели рассеяния примеси, метеорологического реанализа ERA5 и закона Бугера – Ламберта – Бера. Предложенный подход снижает зависимость от дефицита локальных верифицированных обучающих выборок, характерную для территории РФ: на его основе уже сформирована выборка, превосходящая по объёму крупнейшие открытые верифицированные датасеты, а обучение моделей сегментации (U-Net) и перспективных трансформерных архитектур (ViT) продолжается с результатами, приближающимися к целевым метрикам качества.

Разработанная методология реализуется в рамках создаваемой облачной GeoAI-платформы «Геосфера-Интегра» для автоматического мониторинга парниковых газов и природно-климатических рисков промышленных объектов, ориентированной на замещение недоступных для российских пользователей зарубежных аналитических систем. Дальнейшее развитие работы в рамках выполнения НИОКР связано с расширением и диверсификацией синтетической выборки, систематическим подбором архитектур и гиперпараметров моделей, а также с верификацией результатов на открытых датасетах и данных контролируемых выбросов.

Список литературы

1. Jacob D.J., Varon D.J., Cusworth D.H. et al. Quantifying methane emissions from the global scale down to point sources using satellite observations of atmospheric methane // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2022. – Vol. 22 (14). – P. 9617–9646. – DOI 10.5194/acp-22-9617-2022.

2. Никитин О.В., Степанова Н.Ю., Кузьмин Р.С., Латыпова В.З. Содержание метана в атмосфере Республики Татарстан по данным спутникового мониторинга: глобальные тренды и региональные особенности // Российский журнал прикладной экологии. – 2026. – № 1 (45). – С. 21-35. – DOI 10.24852/2411-7374.2026.1.21.35.

3. Varon D.J., Jervis D., McKeever J. et al. High-frequency monitoring of anomalous methane point sources with multispectral Sentinel-2 satellite observations // Atmospheric Measurement Techniques. – 2021. – Vol. 14 (4). – P. 2771–2785. – DOI 10.5194/amt-14-2771-2021.

4. Varon D.J., Jacob D.J., McKeever J. et al. Quantifying methane point sources from fine-scale satellite observations of atmospheric methane plumes // Atmospheric Measurement Techniques. – 2018. – Vol. 11 (10). – P. 5673–5686. – DOI 10.5194/amt-11-5673-2018.

5. Rouet-Leduc B., Hulbert C. Automatic detection of methane emissions in multispectral satellite imagery using a vision transformer // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15 (1). – Art. 3801. – DOI 10.1038/s41467-024-47754-y.

6. Gordon I.E., Rothman L.S., Hargreaves R.J. et al. The HITRAN2020 molecular spectroscopic database // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 2022. – Vol. 277. – Art. 107949. – DOI 10.1016/j.jqsrt.2021.107949.

7. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. – 2015. – Vol. 9351. – P. 234–241. – DOI 10.1007/978-3-319-24574-4_28.

8. Vaughan A., Mateo-García G., Gómez-Chova L. et al. CH4Net: a deep learning model for monitoring methane super-emitters with Sentinel-2 imagery // Atmospheric Measurement Techniques. – 2024. – Vol. 17 (9). – P. 2583–2593. DOI 10.5194/amt-17-2583-2024.

9. Nikitin O., Stepanova N., Gubeeva S. et al. Assessment of methane levels throughout a temperate reservoir area using remote sensing data // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 555. – Art. 01009. – DOI 10.1051/e3sconf/202455501009.

10. Nikitin O., Stepanova N., Kuzmin R. et al. Estimation of atmospheric methane levels over the Republic of Tatarstan (Russia) territory in 2019-2023 using satellite remote sensing data: effects of anthropogenic and climate drivers // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 498. – Art. 02008. – DOI 10.1051/e3sconf/202449802008.

УДК 004.912

МОДЕЛЬ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕДОСТОВЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ В НАУЧНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Охлопкова О.Г., магистрант;
ORCID: 0009-0000-2127-9467;
Закиров М.Г., магистрант Института информационных технологий и интеллектуальных систем ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия
ORCID: 0009-0001-6513-294X

A MODEL FOR IDENTIFYING INCORRECT INFORMATION IN THE SCIENTIFIC INFORMATION SPACE

Okhlopkova O.G., master's student;
ORCID: 0009-0000-2127-9467;
Zakirov M.G., master's student at the Institute of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-6513-294X

Аннотация

Статья посвящена разработке модели выявления недостоверной информации в текстах, имитирующих научный стиль изложения. Актуальность исследования обусловлена тем, что существующие модели обнаружения фейковых новостей ориентированы преимущественно на массовые новостные источники и не учитывают особенности построения научного текста: формально корректный язык, специализированную терминологию и устоявшуюся структуру изложения. Недостоверность в научном контексте не всегда связана с прямой ложностью фактов и может проявляться как необоснованное заявление о решении фундаментальной задачи или некорректная интерпретация результатов. Объектом исследования выступает процесс выявления недостоверных сведений в научном информационном пространстве, предметом – научные тексты и содержащиеся в них утверждения. Целью работы является создание прототипа модели, объединяющей онтологическое представление маркеров недостоверности с методами обработки естественного языка. Для систематизации признаков потенциально недостоверных утверждений – модальности высказывания, структурного раздела статьи, наличия доказательной поддержки и упоминания нерешённых фундаментальных проблем – спроектирована и реализована в редакторе Protege онтология, включающая классы Article, Claim, Marker, ModalityType, SectionType и Mention. Подкласс MillenniumProblem наполнен экземплярами, соответствующими известным нерешённым задачам современной математики, что позволяет автоматически сопоставлять заявления текста о решении подобных проблем с онтологическими маркерами. На основе онтологии разработан алгоритм лингвистической нормализации текста, извлечения утверждений, определения их модальности и вычисления интегральной оценки риска недостоверности с учётом структурного раздела статьи и наличия доказательной поддержки. Алгоритм реализован на языке программирования Python с применением библиотек rdflib, nltk и pymorphy3 и доведён до уровня работающего программного прототипа. Апробация модели выполнена на выборке из 1000 научных и наукообразных текстов, сформированной с привлечением большой языковой модели и материалов базы Scopus; половина текстов содержала намеренно внесённые признаки недостоверности. Результаты апробации показали точность классификации выше 86% и чувствительность выше 90%, что подтверждает работоспособность предложенного подхода и его применимость для автоматизированной проверки научных публикаций на этапе рецензирования, а также для расшире-

ния существующих систем выявления фейковой информации специализированными модулями анализа научного дискурса.

Ключевые слова: модель выявления недостоверной информации, онтология, маркер фейка, обработка естественного языка, модальность утверждения, научный текст, лемматизация, Protege, RDF, оценка риска

Abstract

The paper presents a model for detecting unreliable information in texts that imitate the scientific style of presentation. The relevance of the study stems from the fact that existing fake news detection models are mainly oriented toward mass news sources and do not account for the specifics of scientific texts, namely formally correct language, specialized terminology and an established structure of presentation. Unreliability in a scientific context is not always related to direct factual falsity and may appear as an unsubstantiated claim about solving a fundamental problem or an incorrect interpretation of results. The object of the study is the process of identifying unreliable information in the scientific information space, while the subject is scientific texts and the statements they contain. The goal of the work is to build a prototype model that combines an ontological representation of unreliability markers with natural language processing methods. To systematize features of potentially unreliable statements, namely the modality of a claim, the structural section of the article, the presence of supporting evidence and references to unsolved fundamental problems, an ontology was designed and implemented in the Protege editor, including the classes Article, Claim, Marker, ModalityType, SectionType and Mention. Based on the ontology, an algorithm was developed for linguistic text normalization, statement extraction and computation of an integral unreliability risk score. The algorithm was implemented in Python using the rdflib, nltk and pymorphy3 libraries. The model was tested on a sample of 1000 scientific and pseudo-scientific texts, half of which contained signs of unreliability. The testing results showed a classification accuracy above 86 percent and a recall above 90 percent, confirming the workability of the proposed approach and its applicability for automated verification of scientific publications at the review stage.

Keywords: misinformation detection model, ontology, fake marker, natural language processing, claim modality, scientific text, lemmatization, Protege, RDF, risk scoring

Введение

Распространение псевдонаучных текстов становится одной из актуальных проблем современного информационного пространства. Такие материалы имитируют академическую форму подачи – воспроизводят структуру научной статьи, используют профессиональную терминологию и соблюдают внешние признаки научного стиля, однако не содержат верифицируемых результатов и не вносят реального вклада в развитие знаний. Это принципиально отличает их от привычных форм дезинформации и существенно осложняет автоматическое обнаружение. Если для новостных фейков разработан широкий спектр методов фильтрации [1], то применительно к научному дискурсу аналогичные инструменты практически отсутствуют: стандартные классификаторы не рассчитаны на тексты с корректной терминологией и академической структурой. При этом ненадёжность научного утверждения редко выражается в прямом противоречии фактам [2], гораздо чаще она проявляется в декларировании незаслуженно сильных выводов, необоснованных заявлениях о решении открытых проблем или некорректном переносе частных результатов на общие закономерности.

Сложившаяся ситуация обнажает существенный пробел: имеющиеся модели детектирования недостоверной информации и онтологические разработки в этой области создавались для общедоступных медиа и не учитывают особенностей научного текста. Настоящая работа направлена на восполнение этого пробела. Объект исследования – процесс идентификации недостоверных сведений в научном информационном пространстве; предмет – тексты научных и наукообразных публикаций и извлекаемые из них утверждения.

Цель состоит в разработке прототипа, интегрирующего формализованное онтологическое представление маркеров недостоверности с алгоритмами автоматической обработки естественного языка.

Работа опирается на опыт, накопленный автором при исследовании фейков в новостных текстах [3], и является продолжением исследовательского проекта, предварительные итоги которого были вынесены на обсуждение научного сообщества [4]. Отличие текущего этапа состоит в смещении фокуса с новостного на научный дискурс и в учёте модальных и структурных характеристик академического текста, которые ранее не рассматривались.

Методика

В основу модели положено формальное представление утверждения научного текста через набор признаков. Пусть T – текст научной статьи, $C = \{c_1, \ldots, c_n\}$ – множество извлечённых из него утверждений, S – множество структурных разделов статьи. Каждое утверждение c_i характеризуется модальностью M_i (proved, open, unknown), принадлежностью к разделу R_i, наличием онтологического маркера O_i и наличием доказательной поддержки E_i. Оценка риска утверждения вычисляется как взвешенная сумма:

$$Score(c_i) = w_1 \cdot M_i + w_2 \cdot R_i + w_3 \cdot O_i + w_4 \cdot E_i,$$

где w_k – весовые коэффициенты признаков, а итоговая оценка текста определяется как $Risk(T) = \max Score(c_i)$. Текст признаётся подозрительным, если Risk(T) не меньше порогового значения č. Весовые коэффициенты и их обоснование представлены в табл. 1.

Таблица 1

Весовые коэффициенты признаков функции скоринга

Признак	Вес	Обоснование
Модальность M_i	0,3	Сильный лингвистический сигнал
Раздел статьи R_i	0,2	Структурированный контекст
Онтологический маркер O_i	0,3	Прямое совпадение с маркером
Доказательная поддержка E_i	0,2	Верификация внутри текста

Для формализации признаков недостоверности использован аппарат онтологического моделирования – формальной спецификации разделяемой концептуальной модели предметной области [5]. Разработка онтологии выполнялась в редакторе Protege. Итоговая структура представлена в виде иерархии классов, наследуемых от базового класса owl:Thing. Класс Article используется для описания публикации, Claim – для представления извлечённого утверждения, а Marker – для хранения признаков потенциальной недостоверности. В состав класса Marker входит подкласс MillenniumProblem, включающий фундаментальные математические проблемы, не имеющие общепризнанного решения, такие как гипотеза равенство классов P и NP и другие. Класс ModalityType объединяет подклассы Proved, Open, Partial, Conditional и Survey, отражающие различные типы модальности утверждений. Класс SectionType содержит подклассы Abstract, Introduction, Methods, Results, Conclusion и RelatedWork, соответствующие разделам научной статьи. Связь между утверждением и соответствующим маркером потенциальной недостоверности задаётся с использованием класса Mention.

Для программной обработки онтология преобразуется из формата OWL в RDF-граф средствами библиотеки rdflib: выполняется загрузка файла, разбор его содержимого в набор троек «субъект – предикат – объект» и реализация вспомогательных функций извлечения локального имени сущности и нормализации строковых значений для последующего поиска по графу.

Предварительная обработка научного текста включает приведение к нижнему регистру, удаление пунктуации и специальных символов, токенизацию средствами библиотеки nltk и лемматизацию русскоязычных токенов с помощью морфологического анализатора pymorphy3 [7]; нерусские токены, включая числовые и латинские обозначения, сохраняются без изменений.

Разработка и апробация модели

Анализ существующих решений показал отсутствие специализированных моделей, ориентированных на проверку именно научных источников, при наличии инструментов, частично применимых к этой задаче. Трансформерная модель SciBERT, предобученная на корпусе научных публикаций, способна учитывать контекст и специализированную терминологию благодаря механизму самовнимания, однако формирует лишь вероятностную оценку без формальной верификации утверждений и требует значительных вычислительных ресурсов [8]. Алгоритм ссылочного ранжирования PageRank позволяет оценивать структурную значимость источника по графу цитирования и может применяться как косвенный признак недостоверности, но не анализирует семантику содержания и чувствителен к искусственным ссылочным манипуляциям [9]. Сопоставление подходов представлено в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение подходов к выявлению недостоверной информации в научных текстах

Метод	Принцип работы	Преимущества	Ограничения
SciBERT	Трансформерная модель, предобученная на корпусе научных публикаций; механизм самовнимания	Учитывает контекст и специализированную терминологию	Не верифицирует факты, требует значительных ресурсов
PageRank	Ранжирование узлов графа цитирования по структуре ссылок	Оценивает структурную авторитетность источника	Не анализирует семантику содержания текста
Предложенная модель	Онтология маркеров + анализ модальности и структуры утверждений	Формализует структуру, модальность и доказательность утверждений	Зависит от качества шаблонов и онтологии маркеров

Разработанный алгоритм объединяет структурный и лингвистический анализ текста. На первом этапе документ разбивается на разделы; их названия приводятся к единому виду независимо от исходного языка. Разделы Methods и Results отнесены к безопасным, поскольку в них приводится формальное описание исследования, а Abstract, Introduction и Conclusion – к рискованным, поскольку именно в них чаще встречаются завышенные оценки значимости результатов. Для каждого раздела применяются три шаблона регулярных выражений, которые указывают на: категоричное заявление о доказательстве (proof, доказано), осторожную формулировку (hypothesis, может) и упоминание нерешённых фундаментальных задач. Отдельно выявляются конструкции, которые указывают на отсутствие полного доказательства.

На основе обнаруженных признаков вычисляется интегральная оценка недостоверности утверждения. Совместное упоминание задачи тысячелетия и заявления о её решении увеличивает оценку на 0,50; категоричное утверждение в рискованном разделе – на 0,30; отсутствие подтверждения заявленного маркера в разделах Methods или Results – на 0,40; явное указание на отсутствие доказательства – на 0,25. При значении интегральной оценки не ниже

порога 0,60 утверждение признаётся подозрительным, а при значении от 0,80 текст в целом классифицируется как высокорисковый. Формализованное описание алгоритма представлено на рис. 1.

Апробация модели проведена на выборке из 1000 научных и наукообразных текстов, сформированной с привлечением большой языковой модели и материалов базы Scopus; половина текстов содержала намеренно внесённые признаки недостоверности. По результатам проверки получено 463 истинно положительных, 402 истинно отрицательных, 91 ложноположительный и 44 ложноотрицательных результата. Использованные метрики качества классификации – точность (accuracy), полнота (recall) и F1-мера – рассчитаны в соответствии с общепринятой методикой оценки моделей бинарной классификации [10]. Точность модели составила более 86%, чувствительность – более 90%, что свидетельствует об удовлетворительной работоспособности предложенного подхода при сохранении приемлемого уровня ложных срабатываний.

```
1. Загрузить онтологию O в RDF-граф G
2. Нормализовать текст T:
       привести к нижнему регистру
       удалить пунктуацию
       токенизировать
       лемматизировать русскоязычные токены
3. Разбить T на разделы S = {s1, …, sm}
4. Для каждого раздела si из S:
   4.1. Нормализовать название раздела
   4.2. Определить тип раздела:
            если si ∈ {Methods, Results} → безопасный
            если si ∈ {Abstract, Introduction, Conclusion} → рискованный
   4.3. Для каждого утверждения ci в si:
        а) Определить модальность Mi:
               если найден паттерн отсутствия доказательства → Mi = Unknown
               иначе если найден паттерн сильной модальности → Mi = Proved
               иначе если найден паттерн слабой модальности → Mi = Open
        б) Определить маркер Oi:
               если ci содержит паттерн MillenniumProblem → Oi = 1
               иначе → Oi = 0
        в) Проверить доказательную поддержку Ei:
               если маркер Oi подтверждён в безопасном разделе → Ei = 1
               иначе → Ei = 0
        г) Определить Ri:
               если раздел рискованный → Ri = 1
               иначе → Ri = 0
        д) Вычислить оценку:
               Score(ci) = 0,3·Mi + 0,2·Ri + 0,3·Oi + 0,2·Ei
        е) Если Score(ci) ≥ θ → добавить ci в список подозрительных
5. Risk(T) = max Score(ci) по всем ci
6. Если список подозрительных пуст:
       вернуть «низкий уровень риска»
   Иначе если Risk(T) ≥ 0,80:
       вернуть «высокий уровень риска»
   Иначе:
       вернуть «средний уровень риска»
```

Рис. 1. Псевдокод алгоритма выявления недостоверных утверждений

Выводы

В работе предложена и реализована модель выявления недостоверной информации в научном информационном пространстве, объединяющая онтологическое представление маркеров недостоверности с алгоритмом анализа модальности и структуры научного текста. Разработанная онтология систематизирует признаки потенциально недостоверных утверждений, а алгоритм на её основе обеспечивает автоматическое вычисление интегральной оценки риска. Апробация на тысяче научных и наукообразных текстов продемонстрировала устойчивые показатели качества: доля верных решений составила более 86%, а полнота охвата положительного класса превысила 90%. Полученные результаты открывают перспективы внедрения алгоритма в процедуру рецензирования как инструмента первичного скрининга, а также его подключения к существующим антифейковым системам в роли модуля для работы с научным дискурсом. Направлениями дальнейшего развития модели являются расширение онтологии новыми категориями маркеров и переход от регулярных выражений к обучаемым классификаторам модальности. Исходный код модели и онтология размещены в открытом доступе.

Список литературы

1. Барахнин, В. Б. К вопросу о постановке задачи выявления фейковых новостей и алгоритмах их мониторинга / В. Б. Барахнин, Я. И. Кучин, Р. И. Мухамедиев // Информатика и прикладная математика : материалы III Междунар. науч. конф., 26-29 сент. 2018 г., Алматы, Казахстан. – Алматы, 2018. – С. 113–118.

2. Стернин, И. А. Маркеры фейка в медиатекстах : рабочие материалы / И. А. Стернин, А. М. Шестернина. – Воронеж : РИТМ, 2020. – 34 с.

3. Охлопкова, О. Г. Модель выявления фейковых новостей на основе методов обработки естественного языка : выпускная квалификационная работа / О. Г. Охлопкова. – Казань : КФУ, 2023.

4. Охлопкова, О. Г. Модель выявления фейковых новостей в научных источниках на основе методов инженерии знаний / О. Г. Охлопкова // Труды Математического центра имени Н. И. Лобачевского. Т. 70 : материалы Всерос. школы-конф. «Лобачевские чтения – 2025». – Казань : Изд-во КФУ, 2025. – С. 74–76.

5. Guarino, N. What Is an Ontology? / N. Guarino // Handbook on Ontologies / S. Staab, R. Studer (eds.). – Berlin ; Heidelberg : Springer, 2009.

6. Noy, N. F. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology / N. F. Noy, D. L. McGuinness. – Stanford : Stanford University, 2001. – 23 p.

7. Большакова, Е. И. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных / Е. И. Большакова, К. В. Воронцов, Н. Э. Ефремова [и др.]. – Москва : Изд. дом Высшей школы экономики, 2017. – 269 с.

8. Gusenbauer, M. Fine-tuning SciBERT to enable ASJC-based assessments of the disciplinary orientation of research collections / M. Gusenbauer, J. Endermann, H. Huber [et al.] // Scientometrics. – 2025. – DOI: 10.1007/s11192-025-05490-0.

9. Biloshchytskyi, A. Application of Time-Weighted PageRank Method with Citation Intensity for Assessing the Recent Publication Productivity and Partners Selection in R&D Collaboration / A. Biloshchytskyi, O. Kuchanskyi, A. Mukhatayev [et al.] // Publications. – 2024. – Vol. 12, № 4. – Art. 48. – DOI: 10.3390/publications12040048.

10. Sujon, K. M. Accuracy, precision, recall, f1-score, or MCC? Empirical evidence from advanced statistics, ML, and XAI for evaluating business predictive models / K. M. Sujon, R. Hassan, K. Choi, M. A. Samad // Journal of Big Data. – 2025. – Vol. 12, № 1. – Art. 268. – DOI: 10.1186/s40537-025-01313-4.

УДК 332.14

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АВИАСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Павлова Я.Ю., к.э.н., доцент кафедры экономики и управления на предприятии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-7503-2504;
E-mail: delfa011@yandex.ru;
Зорина Т.Г., д.э.н., заведующая лабораторией «Устойчивое энергетическое развитие» Института энергетики НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь;
E-mail: tanyazorina@ipe.by;
Сафаргалиев М.Ф., заведующий кафедрой экономики и управления на предприятии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-8526-7633;
E-mail: MFSafargaliev@kai.ru

DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF THE AIRCRAFT MANUFACTURING INDUSTRY AND AIRCRAFT MANUFACTURING CLUSTER IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Pavlova Ya.Yu., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Enterprise Economics and Management, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-7503-2504;
E-mail: delfa011@yandex.ru;
Zorina T.G., Doctor of Economic Sciences, Head of the Sustainable Energy Development Laboratory, Institute of Power Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus;
E-mail: tanyazorina@ipe.by;
Safargaliev M.F., Head of the Department of Enterprise Economics and Management, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-8526-7633;
E-mail: MFSafargaliev@kai.ru

Аннотация

В статье рассматривается методики комплексной оценки устойчивости авиастроительного кластера с применением системы взаимосвязанных индикаторов. Предложенная методика включает шесть блоков показателей: экономическую безопасность, технологический суверенитет, интеллектуальную привлекательность, социальную стабильность, энергоэффективность и управление рисками. Апробация методики на предприятиях авиастроительного комплекса показывает эффективность предложенного подхода к оценке и управлению устойчивостью.

Ключевые слова: устойчивость кластера, цифровая трансформация, кооперационные связи, технологический суверенитет, импортозамещение, производственная безопасность, риск-менеджмент, экономическая эффективность, социальная стабильность, инновационное развитие

Abstract

The article examines methodologies for the comprehensive assessment of the sustainability of an aircraft manufacturing cluster using a system of interconnected indicators. The proposed methodology comprises six blocks of indicators: economic security, technological sovereignty, intellectual appeal, social stability, energy efficiency, and risk management. Testing the methodology at enterprises within the aircraft manufacturing complex demonstrates the effectiveness of the proposed approach to assessing and managing sustainability.

Keywords: cluster sustainability, digital transformation, cooperative ties, technological sovereignty, import substitution, production security, risk management, economic efficiency, social stability, innovative development

Введение

У Республики Татарстан нет отдельной «стратегии только для авиастроительного кластера», это часть общей стратегии развития промышленности региона до 2030 г. Но ключевые направления заложены и активно прорабатываются:

– Фокус на импортозамещение и технологический суверенитет. Одна из главных задач – это наладить выпуск отечественных комплектующих, узлов и агрегатов, чтобы снизить зависимость от импорта. В качестве примера: обсуждался проект механообрабатывающего центра ОАК на базе ОЭЗ «Алабуга» – его цель как раз заместить импортные детали для авиационной отрасли;

– Развитие конкретных продуктовых линеек. Стратегия синхронизируется с федеральными программами. В Татарстане делают ставку на серийное производство таких моделей, как Ту-214 на базе Казанского авиазавода), а также участвуют в проектах по созданию региональных самолётов «Ладога» / ТВРС-44, лёгкого многоцелевого самолёта «Байкал» для местных перевозок и развитии среднемагистрального МС-21;

– Усиление кооперации внутри кластера. Идея в том, чтобы связать в единую цепочку не только крупные заводы, но и поставщиков, НИИ, образовательные учреждения, например, КНИТУ-КАИ им. А. Н. Туполева. Это нужно для обмена компетенциями, совместного проектирования и ускорения внедрения инноваций;

– Развитие инфраструктуры и компетенций. В планах – создание центров компетенций: по композитным материалам, по разработке и производству бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО), по созданию специализированного ПО для авиастроения. Отдельным направлением выделяется станкостроение. Существует необходимость построить в республике завод по выпуску современного оборудования для авиапрома;

– Кадровая стратегия. В стратегию включили проект «Цифровая кадровая платформа для авиастроительного кластера». Его цель – это бесшовно закрывать кадровые потребности предприятий ОПК: от профориентации школьников до переподготовки действующих сотрудников;

– Выход на новые рынки. Стратегия предусматривает продвижение продукции кластера не только внутри России, но и за рубежом – через участие в международных выставках, заключение контрактов на поставку воздушных судов и организацию сервисного обслуживания;

– Синхронизация с федеральными программами. Региональная стратегия тесно переплетается с федеральными документами (например, с Комплексной программой развития авиатранспортной отрасли РФ до 2030 года). Это позволяет получать целевые субсидии и другие меры господдержки для совместных проектов;

– Диверсификация и новые ниши. Помимо классической большой авиации, развивают направления, связанные с малой авиацией, беспилотными системами, специализированной авиатехникой (например, для сельского хозяйства, поисково-съёмочных работ). Это помогает расширять рынок сбыта и снижать риски;

– Привлечение инвестиций и господдержка. Для реализации масштабных проектов активно используют механизмы государственно-частного партнёрства (ГЧП), а также федеральные и региональные меры поддержки (субсидии, льготное финансирование, возмещение затрат на инфраструктуру;

– Работа с рынком и спросом. Важная задача стоит формировать гарантированный спрос: заключать контракты с авиакомпаниями, лизинговыми компаниями (например, ГТЛК), участвовать в госпрограммах развития гражданской авиации.

В целом стратегия строится на принципе: использовать сильные стороны республики (научный потенциал, производственные площадки), точечно закрывать узкие места (станкостроение, отдельные компоненты) и встраиваться в общероссийские и глобальные цепочки создания стоимости.

Методом исследования в данной статье является сравнительный анализ двух методик.

Основная часть

Устойчивое развитие *отрасли* трактуется как способность оставаться экономически жизнеспособной, технологически независимой и конкурентоспособной на глобальном рынке в долгосрочной перспективе, при этом возвращаться к равновесию после внешних шоков.

Ключевые признаки:

1. Экономическая устойчивость корпораций. Финансовая самодостаточность финалистов и поставщиков, они не требуют постоянной операционной поддержки государства. Индикаторы: рост выручки, рентабельность, снижение убытков, способность формировать собственные источники финансирования.

2. Технологический суверенитет. Способность обеспечить всю научно-производственную цепочку собственными силами – особенно в военном сегменте. В гражданском сегменте допускается использование лучших мировых комплектующих, но с развитой базой отечественных поставщиков.

3. Глобальная конкурентоспособность и экспортная ориентация. Доля экспорта финальной продукции и комплектующих должна превысить 40% к 2030 г.; производительность труда более чем в 4 раза.

4. Трансформация индустриальной модели. Переход от вертикально интегрированных структур к фокусу на ключевых компетенциях (НИОКР, финальная сборка, послепродажное обслуживание) с выводом нижних переделов на аутсорсинг и развитием поставщиков 2–4-го уровней.

5. Инновационная активность. Отрасль характеризуется высокой наукоёмкостью, длительным циклом разработки, требует постоянного технологического обновления и владения современными методами управления.

6. Государственное регулирование как системообразующий фактор. Обеспечение обороноспособности, поддержка продаж, субсидии, лизинговые механизмы, политическая поддержка экспорта.

7. Кадровая обеспеченность. Удержание лидерства в научно-технологическом заделе требует целенаправленной работы с человеческим капиталом.

Кластерный уровень – это более узкая, территориально локализованная система. Устойчивость кластера определяется как характеристика развития наукоёмких производств внутри кластера, позволяющая им разрабатывать и изготавливать конечный продукт в единой технологической цепочке без привлечения сторонних предприятий за пределами кластера.

Ключевые признаки:

1. Полнота технологического цикла внутри кластера. Кластер должен покрывать весь цикл: от НИОКР до послепродажного обслуживания и утилизации. Это главный фактор сохранения равновесия в развитии.

2. Синергетический эффект от локализации и взаимозависимости. Территориальная близость и взаимосвязанность предприятий создают синергию, усиливающую конкурентные преимущества всех участников.

3. Иерархическая трёхуровневая структура:

Ядро – финальный интегратор (сборочное предприятие);

Второй уровень – поставщики крупных модулей и агрегатов;

Третий уровень – поставщики узлов, компонентов, инфраструктурное обслуживание, малый высокотехнологичный бизнес.

4. Четыре индикатора устойчивости кластера: экономическая безопасность, технологическая независимость, интеллектуальная привлекательность, социальная стабильность. Они охватывают экономический, технологический, кадровый и социальный потенциал участников.

5. Двухкомпонентный механизм функционирования:

– механизм саморазвития – внутренние процессы взаимодействия участников;

– механизм внешнего регулирования – государственное регулирование + регулирование со стороны экспертного сообщества.

6. Низкая внутренняя устойчивость участников. Из-за высокого риска, цикличности развития и длительного временного лага между вложениями и окупаемостью наукоёмкие производства кластера изначально уязвимы.

7. Государственно-частное партнёрство как организационная основа. Орган власти структурно не входит в кластер, но является важнейшим внешним фактором, влияющим на все параметры работы участников.

8. Сетевой характер взаимодействия. Уровень доверия между участниками, плотность связей, наличие или отсутствие «структурных дыр» напрямую определяют устойчивость кластера. Слабая сеть с разрывами делает кластер уязвимым. Различия устойчивости отрасли и кластера представлены в табл. 1.

Таблица 1

Особенности устойчивости отрасли и кластер

Параметр	Отрасль авиастроения	Авиастроительный кластер
Масштаб	Национальный, глобальный	Региональный, территориально локализованный
Фокус устойчивости	Глобальная конкурентоспособность, экспорт, финансовая самодостаточность	Замкнутость технологического цикла, синергия участников
Целевая функция	Стоимость бизнеса (для гражданского сектора) / выполнение ГОЗ (для военного)	Максимум рыночной стоимости при ограничениях по ресурсам, с учётом всех участников цепочки
Роль государства	Системообразующий фактор: ГОЗ, субсидии, экспортная поддержка	Внешний регулятор: координация, ГЧП, но не входит в структуру кластера
Внутренняя устойчивость	Зависит от финансовой устойчивости корпораций (ОАК и др.)	Изначально низкая из-за рисков и лагов; зависит от плотности связей между участниками
Технологическая независимость	Стратегическая цель: обеспечение всей цепочки своими силами	Практическое условие: конечный продукт создаётся без привлечения внешних предприятий
Ключевые индикаторы	Выручка, экспорт, производительность труда	Экономическая безопасность, технологическая независимость, интеллектуальная привлекательность, социальная стабильность
Инновационный фактор	Отрасль – генератор и потребитель инноваций	Ядро кластера – инновационные наукоёмкие предприятия; инжиниринговый центр как обязательный элемент

Ключевые отличия представлены шестью признаками.

1. Смысл устойчивости разный. Для отрасли это «экономически устойчивая, глобально конкурентоспособная структура». Для кластера – это «способность производить конечный продукт в замкнутой цепочке без внешней зависимости». Отрасль может быть устойчивой и с международной кооперацией; кластер может только с замкнутостью цикла внутри себя.

2. Уровень управления. Отрасль управляется через корпоративные стратегии (ОАК) и государственные программы (Стратегия авиапрома 2030). Кластер требует организации-координатора, согласующей интересы участников между собой, с властью и внешней средой.

3. Финансовая логика. Для отрасли главным индикатором является совокупная выручка и экспорт, для кластера стоимость бизнеса участников при ресурсных ограничениях, а также социальная стабильность и интеллектуальная привлекательность как отдельные индикаторы.

4. Территориальный фактор. Отрасль не привязана к конкретной территории. Предприятия находятся по всей стране. Кластер основан на территориальной локализации, хотя в авиастроении она может быть частичной, и именно локализация порождает синергию.

5. Риск-профиль. Отрасль в целом устойчивее за счёт диверсификации продуктов и рынков. Кластер более уязвим: если ядро в виде сборочного предприятия теряет заказы, рушится вся цепочка.

6. Целевая функция для государственных предприятий. На отраслевом уровне приоритет отдается национальной безопасности и выполнению ГОЗ. На кластерном уровне приоритет отдается частным участникам, стоимости бизнеса; для государственных ГОЗ и безопасность. Кластерная структура требует согласование этих разных целевых функций.

Несмотря на различия, сходствами являются:

1. Государство как главный внешний фактор. Ни отрасль, ни кластер не могут быть устойчивыми без государственного участия будь то ГОЗ, субсидии, регулирование или политическая поддержка.

2. Длительный цикл и высокая наукоёмкость. Обе системы характеризуются большим временным лагом между вложениями в разработку и возвратом средств, что делает их финансово уязвимыми.

3. Инновации как условие выживания. И отрасль, и кластер не могут устойчиво развиваться без постоянного технологического обновления, в противном случае теряют конкурентоспособность.

4. Кадровый фактор. Обе системы требуют подготовки и удержания высококвалифицированных специалистов; без этого устойчивость невозможна.

5. Зависимость от цепочек поставок. Развитие поставщиков 2–4-го уровней является общей задачей: для отрасли это вопрос глобальной конкурентоспособности, для кластера это условие замкнутости технологического цикла.

6. Диверсификация рынков. Ориентация не только на внутренний, но и на внешний рынок.

Четыре индикатора устойчивости авиастроительного кластера разработаны в диссертационной работе Л. А. Федоровой «Методологическая база для оценки устойчивости авиастроительного кластера разработана в диссертации» [1].

Согласно этой методологии, устойчивость кластера измеряется четырьмя индикаторами, каждый из которых представлен группой показателей с пороговыми значениями.

1. Экономическая безопасность

Оценивает финансовый и ресурсный потенциал предприятий, т.е. способность устойчиво функционировать без внешней финансовой подпорки. Поскольку внутренняя устойчивость наукоёмких производств авиакластера изначально низка (высокий риск, цикличность, длительный лаг между вложениями и окупаемостью), применяется нормативный подход в долгосрочном аспекте (табл. 2).

Таблица 2

Экономическая безопасность авиационного кластера

Показатель	Нормальный уровень	Критический уровень
Коэффициент автономии	1,0–0,8	1,0–0,7
Коэффициент структуры долгосрочных вложений	0–0,3	–
Коэффициент финансовой устойчивости	–	–
Фондоотдача	Более 10	–
Коэффициент интенсивности обновления ОПФ	Более 0,2	0,19–0,1
Уровень загрузки производственных мощностей	1,0–0,9	0,89–0,7
Рентабельность производства	Более 1	0,99–0,5

2. Технологическая независимость

Характеризует способность предприятия самостоятельно разрабатывать, производить и внедрять собственные конкурентоспособные технологии. Оценивает научный, производственно-технологический и маркетинговый потенциал (табл. 3).

Таблица 3

Технологическая независимость авиационного кластера

Показатель	Нормальный уровень	Критический уровень
Наукоёмкость производства	Более 0,4	0,39–0,2
Коэффициент инвестирования НИОКР	Более 0,3	0,29–0,1
Собственная патентная защищённость	1,0–0,6	0,59–0,4
Показатель освоения инноваций	Более 0,6	0,59–0,4
Рентабельность коммерческих расходов	Более 1	0,99–0,5
Зависимость от внешних исполнителей	Менее 0,3	0,31–0,5

3. Интеллектуальная привлекательность

Совокупность показателей, отражающих условия привлечения, адаптации и развития интеллектуальных научно-производственных кадров (табл. 4).

Таблица 4

Интеллектуальная привлекательность авиационного кластера

Показатель	Нормальный уровень	Критический уровень
Наукоёмкость труда	Более 0,4	0,39–0,2
Возрастной уровень научного кадрового потенциала	Менее 45 лет	46–55 лет

4. Социальная стабильность

Оценивает обеспечение кадрового потенциала условиями для высокопроизводительного труда, уровень качества жизни человеческого капитала (табл. 5).

Таблица 5

Социальная стабильность авиационного кластера

Показатель	Нормальный уровень	Критический уровень
Уровень стабильности кадров (текучесть)	0–0,1	0,11–0,2
Уровень профессиональной подготовки	Более 0,3	0,29–0,1
Уровень оплаты труда	Более 1	0,99–0,7
Уровень социальной неудовлетворённости	0	0,1–0,3

Каждому показателю присваивается ранг: 1 – нормальный уровень, 0,5 – критический, 0 – кризисный. Предприятия классифицируются по пяти классам устойчивости (от «устойчивого» до «кризисного»). По исследованию Федоровой Л.А. [1], индикатор экономической безопасности оказывает наибольшее влияние на итоговый уровень устойчивости.

В 2026 г. КНИТУ-КАИ выиграл грант Фонда науки и технологий РТ на проект «Разработка методического обеспечения стратегий устойчивого развития авиастроительного кластера Республики Татарстан: индикаторы технологического суверенитета, ТРИЗ-риск-менеджмент, энергоэффективность и экономическая безопасность» под руководством Я. Ю. Павловой [2]. Данная методология сейчас активно адаптируется конкретно под Татарстан.

Название проекта включает «индикаторы технологического суверенитета, ТРИЗ-риск-менеджмент, энергоэффективность и экономическая безопасность». К исходным четырём индикаторам Федоровой Л.А. добавляются три новых измерения, продиктованных санкционной реальностью и спецификой Татарстана, состав показателей методики не является конечным и прямо предполагает ввод дополнительных. Это методологическое разрешение расширять систему. Ниже представлена адаптированная система показателей для предприятий кластера РТ, с учётом их реального состояния и задач гранта.

1. Индикатор экономической безопасности

Базовые показатели Федоровой Л.А. сохраняются, но дополняются тремя новыми, отражающими специфику предприятий Татарстана: высокую кредитную нагрузку (КВЗ – 11,5 млрд руб. под 17–19,5%), зависимость от ГОЗ и разрыв себестоимости внутреннего и экспортного контрактов (табл. 6).

Логика расширения: предприятия РТ работают в условиях санкционного закрытия экспортных рынков (КВЗ) и принудительного разворота на внутренний рынок с кратно меньшей маржинальностью. Без показателей 1.8–1.10 стандартная оценка по Федоровой Л.А. покажет «нормальную» устойчивость, хотя реальная финансовая уязвимость высока.

2. Индикатор технологической независимости расширяется до индикатора технологического суверенитета.

Грант Павловой Я.Ю. прямо называет «индикаторы технологического суверенитета». Это расширение исходного индикатора: вместо просто способности разрабатывать технологии, понимается способность обеспечить всю цепочку собственными силами в условиях санкций. Добавляются показатели глубины локализации и зависимости от критического импорта (табл. 7).

Таблица 6

Индикатор экономической безопасности авиастроительного кластера

№	Показатель	Формула / источник	Нормальный	Критический	Кризисный	Почему важен для РТ
1.1	Коэффициент автономии	Собственный капитал / валюта баланса	1,0–0,8	0,79–0,6	<0,59	КАЗ и КАПО-Композит имеют отрицательный собственный капитал
1.2	Коэффициент структуры долгосрочных вложений	Долгосрочные обязательства / внеоборотные активы	0–0,3	0,31–0,5	>0,51	КВЗ – кредиты на 11,5 млрд руб.
1.3	Фондоотдача	Выручка / среднегодовая стоимость ОПФ	>10	9–1	<0,9	Масштабная модернизация КАЗ (20+ объектов) временно снижает отдачу
1.4	Коэффициент износа ОПФ	Износ / первоначальная стоимость ОПФ	<0,3	0,31–0,5	>0,51	Критично для КАЗ – устаревшее оборудование, нет собственной литейки
1.5	Коэффициент интенсивности обновления ОПФ	Введено ОПФ / наличие ОПФ на конец года	>0,2	0,19–0,1	<0,09	КАЗ – активная фаза модернизации, КВЗ – строительство ЦПО на 25+ млрд руб.
1.6	Уровень загрузки производственных мощностей	Фактический выпуск / проектная мощность	1,0–0,9	0,89–0,7	<0,69	КАЗ: 1 самолёт в год при плане 10–20 – кризисный уровень загрузки
1.7	Рентабельность производства	Прибыль от продаж / себестоимость	>1	0,99–0,5	<0,49	КВЗ – рентабельность 1,2% (критический); себестоимость внутренних заказов 82% от выручки
1.8	Коэффициент долговой нагрузки (новый)	Кредиты и займы / выручка	<0,3	0,31–0,5	>0,51	КВЗ: 11,5 млрд кредитов при выручке 59 млрд = 0,19 (норма, но при ставке 17–19,5% обслуживание съедает прибыль)
1.9	Доля ГОЗ в выручке (новый)	Выручка по ГОЗ / общая выручка	0,3–0,7	0,71–0,9	>0,91 или <0,2	КМПО – почти 100% ГОЗ; КВЗ – критически зависит от ГОЗ при потере экспортных рынков. Перекос в любую сторону – риск
1.10	Коэффициент себестоимости внутреннего контракта (новый)	Себестоимость внутреннего заказа / выручка по внутреннему контракту	<0,7	0,7–0,85	>0,85	КВЗ: 82% – критический уровень, производить для РФ втрое менее выгодно, чем на экспорт

Таблица 7

Индикатор технологической независимости авиастроительного кластера

№	Показатель	Формула / источник	Нормальный	Критический	Кризисный	Почему важен для РТ
2.1	Наукоёмкость производства	Расходы на НИОКР / выручка	>0,4	0,39–0,2	<0,19	Базовый показатель Федоровой
2.2	Коэффициент инвестирования НИОКР	Инвестиции в НИОКР / общие инвестиции	>0,3	0,29–0,1	<0,09	Базовый
2.3	Собственная патентная защищённость	Патенты предприятия / общее число патентов в кластере	1,0–0,6	0,59–0,4	<0,39	Базовый
2.4	Показатель освоения инноваций	Доля инновационной продукции в общем объёме	>0,6	0,59–0,4	<0,39	Базовый
2.5	Зависимость от внешних исполнителей	Стоимость работ сторонних организаций / общие расходы на НИОКР	<0,3	0,31–0,5	>0,51	Базовый
2.6	Коэффициент локализации (новый)	Стоимость отечественных комплектующих / общая стоимость комплектующих	>0,8	0,5–0,79	<0,5	КАЗ: программа импортозамещения Ту-214 завершена, но зависимость от КАПО-Композит сохраняется; КВЗ: «Ансат» – полная пересборка
2.7	Коэффициент технологической зависимости (новый)	Доля критически импортных позиций в общем перечне ПКИ	<0,1	0,1–0,3	>0,3	По методологии Росавиации: снижение коэффициента технологической зависимости в 2,5 раза к 2030 г.
2.8	Уровень цифровизации производства (новый)	Доля процессов, охваченных цифровыми инструментами (CAD/CAM/PLM/ERP), в общем числе	>0,7	0,4–0,69	<0,4	КАЗ – цифровая модель сборки Ту-214; РМЦ Татарстана – 6000+ поставщиков. Цифровизация – условие технологического суверенитета
2.9	Полнота технологического цикла (новый)	Число этапов цикла, обеспеченных внутри кластера / общее число этапов	>0,8	0,5–0,79	<0,5	КАЗ: нет литейки, зависит от КАПО-Композит – неполнота цикла. По Гонтарю (2025): КТЛ = 0,68 – «профиль структурной зависимости»
2.10	Глубина кооперационных связей (новый)	Число поставщиков 2–4 уровней внутри РТ / общее число поставщиков	>0,5	0,2–0,49	<0,2	16 предприятий РТ подключены к Ту-160, но цепочки гражданского сегмента не сформированы

Логика расширения: Татарстан строит модель «вынужденного импортозамещения с перспективой выхода на экспортоориентированную модель». Показатели 2.6–2.10 измеряют не просто способность к инновациям, а фактическую замкнутость цикла внутри кластера. Это и есть определение устойчивости по Федоровой Л.А., адаптированное под санкционные условия.

3. Индикатор интеллектуальной привлекательности

Базовые два показателя Федоровой (наукоёмкость труда и возраст научного кадрового потенциала) недостаточны для Татарстана, где кадровый голод признан на уровне министра промышленности и гендиректора ОАК. Добавляются показатели, отражающие реальную кадровую ситуацию – дефицит 140+ вакансий на КВЗ, потребность КАЗ в специалистах для выхода на 20 машин в год (табл. 8).

4. Индикатор социальной стабильности

Базовые показатели Федоровой Л.А. (текучесть, профессиональная подготовка, оплата труда, социальная неудовлетворённость) сохраняются, но дополняются показателями, отражающими специфику крупных промышленных центров Казани, играющих градообразующую роль заводов и жилищные программы (табл. 9).

5. Индикатор энергоэффективности (новый, из названия гранта)

Впервые в методологию кластерной устойчивости вводится энергетический блок. Обоснование: Россия занимает 16-е место в мировом рейтинге энергоэффективности промышленности (10 из 25 баллов по оценке ACEEE). Авиастроение – энергоёмкая отрасль (литейное производство, термическая обработка, композитные «чистые комнаты»), и при росте тарифов естественных монополий энергоёмкость напрямую бьёт по рентабельности – особенно критично при рентабельности КВЗ 1,2% (табл. 10).

6. Индикатор ТРИЗ-риск-менеджмента (новый, из названия гранта)

Принципиальная новизна гранта – это интеграция ТРИЗ (теории решения изобретательских задач) в систему риск-менеджмента кластера. ТРИЗ позволяет выявлять технические противоречия, коренные источники потенциальных отказов, и устранять их до возникновения аварийных ситуаций. Это особенно актуально для Татарстана, где КАЗ выводит Ту-214 в серию на модернизируемом оборудовании, а КВЗ пересобирает «Ансат» с новыми двигателями (табл. 11).

Итого: 43 показателя (20 базовых + 23 новых).

Методика ранжирования сохраняется по Федоровой: каждому показателю присваивается ранг 1 / 0,5 / 0; сумма рангов делится на количество показателей; предприятие относится к одному из пяти классов устойчивости. Но при 43 показателях (против 20 у Федоровой) дискриминантная модель классификации станет более чувствительной, особенно за счёт новых блоков, которые улавливают санкционные и кадровые риски, невидимые в исходной методике.

Весовые коэффициенты: при расширенной системе целесообразно пересчитать веса индикаторов через экспертный опрос (как в методике Исупова) – с учётом того, что для Татарстана в текущих условиях экономическая безопасность и технологический суверенитет должны иметь повышенные веса (по Федоровой, экономическая безопасность уже имела наибольший вес – 5,5 из 11).

Важный нюанс: КАПО-Композит ликвидирован путём присоединения с 1 апреля 2024 г. – это означает, что композитные компетенции перераспределяются внутри ОАК, и оценка этого предприятия как самостоятельного участника кластера РТ, по-видимому, должна быть пересмотрена. Методика Павловой должна учесть изменение структуры кластера – возможно, оценивая не само юрлицо, а композитное производство как функциональный узел внутри ОАК, физически размещённый в Казани.

Таблица 8

Индикатор интеллектуальной привлекательности авиастроительного кластера

№	Показатель	Формула / источник	Нормальный	Критический	Кризисный	Почему важен для РТ
3.1	Наукоёмкость труда	Численность НИР / общая численность ППП	>0,4	0,39–0,2	<0,19	Базовый показатель Федоровой
3.2	Возрастной уровень научного кадрового потенциала	Средний возраст научных сотрудников	<45 лет	46–55 лет	>56 лет	Базовый
3.3	Коэффициент укомплектованности кадрами (новый)	Фактическая численность / штатная численность	>0,95	0,8–0,94	<0,8	КВЗ: 140+ незакрытых вакансий; КАЗ: потребность в кадрах для выхода на 20 машин в год
3.4	Коэффициент подготовки кадров (новый)	Число выпускников КНИТУ-КАИ по авиационным специальностям / потребность предприятий кластера	>1,0	0,5–0,99	<0,5	КНИТУ-КАИ – ключевой поставщик кадров; разрыв между выпуском и спросом
3.5	Коэффициент удержания молодых специалистов (новый)	Доля специалистов до 30 лет, работающих на предприятии более 3 лет / общее число принятых молодых специалистов за соответствующий период	>0,6	0,3–0,59	<0,3	Отток молодёжи в смежные отрасли (IT, нефтегаз) – системная проблема РТ
3.6	Доля работников с цифровыми компетенциями (новый)	Число сотрудников, владеющих CAD/PLM/имитационным моделированием / общая численность ИТР	>0,5	0,2–0,49	<0,2	КАЗ: 44 специалиста по формированию линии и 14 по цифровому моделированию – для масштаба завода это недостаточно [3]

Таблица 9

Индикатор социальной стабильности авиастроительного кластера

№	Показатель	Формула / источник	Нормальный	Критический	Кризисный	Почему важен для РТ
4.1	Уровень стабильности кадров (текучесть)	Число уволенных по собств. желанию / среднесписочная численность	0–0,1	0,11–0,2	>0,2	Базовый
4.2	Уровень профессиональной подготовки	Доля работников с высшим/средним профессиональным образованием	>0,3	0,29–0,1	<0,09	Базовый
4.3	Уровень оплаты труда	Средняя зарплата на предприятии / средняя по региону в обрабатывающей промышленности	>1	0,99–0,7	<0,69	Базовый
4.4	Уровень социальной неудовлетворённо-сти	Доля работников, неудовлетворённых условиями труда (по данным опросов)	0	0,1–0,3	>0,3	Базовый
4.5	Коэффициент обеспеченности жильём (новый)	Доля работников, получивших жилищную поддержку (корпоративное жильё, ипотека) / общая численность	>0,1	0,05–0,09	<0,05	КВЗ и КАЗ – градообразующие предприятия Казани; жилищная программа как ключевой инструмент удержания
4.6	Доля молодых работников в возрастной структуре (новый)	Численность работников до 35 лет / общая численность	>0,35	0,2–0,34	<0,2	Старение коллективов – это системная угроза для всего авиапрома РТ

Таблица 10

Индикатор энергоэффективности авиастроительного кластера

№	Показатель	Формула / источник	Нормальный	Критический	Кризисный	Почему важен для РТ
5.1	Энергоёмкость продукции	Затраты на ТЭР / выручка	<0,03	0,03–0,07	>0,07	Базовый индикатор Росстата для оценки энергоэффективности отраслей
5.2	Доля затрат на энергию в себестоимости	Расходы на электроэнергию, тепло, топливо / полная себестоимость	<0,05	0,05–0,1	>0,1	При рентабельности 1,2% рост доли энергозатрат на 1 п.п. может перевести предприятие в убыток
5.3	Электро-вооружённость труда	Потребление электроэнергии / среднесписочная численность	Рост в динамике	Стагнация	Снижение	Индикатор технологического уровня производства
5.4	Коэффициент внедрения энергосберегающих технологий	Число внедрённых энергосберегающих мероприятий / общее число запланированных	>0,7	0,4–0,69	<0,4	Наличие штатного энергоменеджера и проведение энергоаудитов – критерии ACEEE
5.5	Доля возобновляе-мых источников в энергобалансе предприятия	Потребление из ВИЭ / общее потребление ТЭР	>0,05	0,01–0,04	0	Перспективный показатель – в РТ развиваются ВИЭ, авиапром может использовать зелёную энергию

Таблица 11

Индикатор ТРИЗ-риск-менеджмента авиастроительного кластера

№	Показатель	Формула / источник	Нормальный	Критический	Кризисный	Почему важен для РТ
6.1	Уровень идентификации технических противоречий	Число выявленных и разрешённых противоречий по методологии ТРИЗ / общее число потенциальных (по результатам функционального анализа)	>0,7	0,4–0,69	<0,4	КАЗ: противоречие «рост серийности → рост сложности → рост стоимости». КВЗ: «импортозамещение двигателя → изменение массобаланса → пересертификация»
6.2	Вероятность срыва программы (по ГОСТ Р 58045-2017)	Оценка по матрице вероятности–последствий	Низкая	Средняя	Высокая	ГОСТ напрямую применим к авиастроению; критерии: высокий риск – неприемлем вне зависимости от эффективности мер
6.3	Ущерб от срыва программы	Финансовые потери + степень недостижения планового эффекта	<0,1 от годовой выручки	0,1–0,3	>0,3	ОАК берёт на себя финансовую ответственность за поставщиков «до пятого колена» – ущерб каскадный
6.4	Уровень технологической готовности (TRL)	Средний TRL по ключевым технологиям предприятия	>7 (система прототипирована в реальных условиях)	4–6	<4	КАЗ: цифровая модель сборки – TRL ~6; КВЗ: «Ансат» с отечественным двигателем – TRL ~5–6 (наземные испытания)
6.5	Коэффициент покрытия рисков	Число разработанных мер воздействия / число идентифицированных рисков	>0,8	0,5–0,79	<0,5	По методологии АСУР (автоматизированной системы управления рисками)
6.6	Длительность цикла разрешения противоречия (новый, ТРИЗ-специфичный)	Среднее время от выявления технического противоречия до его разрешения	<30 дней	30–90 дней	>90 дней	Чем быстрее разрешается противоречие, тем выше адаптивность к изменениям – ключевой фактор при импортозамещении

Таблица 12

Сводная архитектура методик

Показатель	Индексы по Федоровой Л.А.	Индексы по Павловой Я.Ю.
Экономическая безопасность (10 показателей)	7 базовых	3 новых: долговая нагрузка, доля ГОЗ, себестоимость контракта
Технологический суверенитет (10 показателей)	5 базовых («технологическая независимость»)	5 новых: локализация, тех. зависимость, цифровизация, полнота цикла, глубина кооперации
Интеллектуальная привлекательность (6 показателей)	2 базовых (Федорова)	4 новых: укомплектованность, подготовка, удержание, цифровые компетенции
Социальная стабильность (6 показателей)	4 базовых (Федорова)	2 новых: обеспеченность жильём, доля молодёжи
Энергоэффективность (5 показателей, новый блок	Энергоэффективность (5 показателей, новый блок)	энергоёмкость, доля затрат, электровооружённость, внедрение, ВИЭ
ТРИЗ-риск-менеджмент (6 показателей, новый блок)	–	противоречия, вероятность срыва, ущерб, TRL, покрытие рисков, цикл разрешения

Таблица 13

Ожидаемые результаты апробации на предприятиях РТ

Предприятие	Прогнозируемый класс (по 5-классной шкале)	Ключевое узкое место
КВЗ	III–IV (частично устойчивое – кризисное)	Экономическая безопасность: рентабельность 1,2%, долговая нагрузка. Технологический суверенитет: узкий модельный ряд, пересборка «Ансата»
КАЗ	IV–V (кризисное)	Загрузка мощностей: 1 самолёт/год при плане 10–20. Полнота цикла: нет литейки, зависимость от КАПО-Композит
КМПО	III (частично устойчивое)	Доля ГОЗ ~100% – риск потери единственного заказчика. Кадровый голод
КАПО-Композит (реорганизован с 01.04.2024)	II–III (нормальное – частично устойчивое)	Технологическая независимость: высокий уровень (центр компетенций ОАК), но неполнота кооперации внутри кластера РТ – работает на федеральные программы, а не на КАЗ

Вывод

Проведённое исследование позволило установить, что существующий уровень устойчивости авиастроительного кластера характеризуется как кризисный с индексом 0,40. Основными факторами риска являются высокая зависимость от государственного оборонного заказа, критический износ основных производственных фондов, дефицит квалифицированных кадров и недостаточный уровень технологической независимости.

Предложенная методология оценки устойчивости позволяет: выявлять проблемные зоны развития кластера, оценивать эффективность реализуемых мер поддержки, прогнозировать последствия принимаемых управленческих решений, формировать обоснованные стратегии развития.

Реализация разработанных стратегий позволит достичь целевого значения индекса устойчивости 0,65 к 2030 г. Ключевыми направлениями повышения устойчивости являются: развитие внутреннего рынка продукции, углубление кооперационных связей между предприятиями кластера, цифровизация производственных процессов, повышение уровня технологической независимости, развитие кадрового потенциала

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанной методики для оценки и управления устойчивостью промышленных кластеров различной специализации. Предложенные инструменты могут быть использованы органами управления промышленностью, руководством предприятий и исследовательскими организациями.

Благодарности

Работа выполнена за счет предоставленного в 2026 г. Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан (Соглашение №14 от 05 августа 2026 года).

Список литературы

1. Федорова, Лидия Анатольевна Методология и инструментарий формирования устойчивого развития наукоемких производств авиационного кластера : автореферат дис. ... доктора экономических наук : 08.00.05 / Федорова Лидия Анатольевна; [Место защиты: Моск. гос. авиац. ин-т]. – Москва, 2015. – 48 с. https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01005558769?page=1&rotate=0&theme=white (дата обращения 29.08.2026).

2. Пять проектов КНИТУ-КАИ поддержаны Фондом науки и технологий РТ https://kai.ru/news/new?id=14465355 (дата обращения 30.07.2026).

3. КАИ (входит в Союз машиностроителей России) участвует в создании Цифровой кадровой платформы для авиакластера https://mpt.tatarstan.ru/index.htm/news/157017.htm (дата обращения 30.08.2026).

УДК 004.43

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИИ-АССИСТЕНТА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ПОИСКОМ

Перов А.М., студент магистратуры;
E-mail: arthurpe34@yandex.ru;
Невзоров В.Н., к.т.н., доцент кафедры САПР, научный руководитель, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

DESIGNING AN AI ASSISTANT BASED ON MULTI-AGENT ARCHITECTURE AND RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION TECHNOLOGY

Perov A.M., master's student;
E-mail: arthurpe34@yandex.ru;
Nevzorov V.N., candidate of technical sciences, Associate Professor of SAPR Department, supervisor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена проектированию и реализации корпоративной интеллектуальной платформы, объединяющей технологию дополненной генерации с поиском (Retrieval-Augmented Generation, RAG) с мультиагентной оркестрацией. Серверная часть системы построена на языке Java 21 с применением фреймворка Spring Boot 3 и библиотеки LangChain4j, обеспечивающей потоковое взаимодействие с большими языковыми моделями (LLM). Клиентский интерфейс реализован на базе React-метафреймворка Next.js 15 с поддержкой Server-Sent Events для отображения ответов в режиме реального времени. В ходе нагрузочного тестирования установлены зависимости времени до первого токена и скорости индексации документов от объема векторной коллекции, что подтверждает пригодность архитектуры для промышленного развертывания.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мультиагентные системы, дополненная генерация с поиском, RAG, большие языковые модели, LangChain4j, Spring Boot, Next.js, векторные базы данных

Abstract

The article addresses the design and implementation of a corporate intelligent platform integrating Retrieval-Augmented Generation (RAG) technology with multi-agent orchestration. The server-side component is built on Java 21 using the Spring Boot 3 framework and the LangChain4j library, which provides streaming interaction with large language models (LLMs). The client interface is implemented on the basis of the Next.js 15 React meta-framework with Server-Sent Events support for real-time response rendering. Load testing established the dependencies of time-to-first-token and document indexing speed on vector collection size, confirming the architecture's suitability for industrial deployment.

Keywords: artificial intelligence, multi-agent systems, retrieval-augmented generation, RAG, large language models, LangChain4j, Spring Boot, Next.js, vector databases

Введение

В условиях цифровой трансформации бизнеса эффективное управление корпоративными знаниями становится стратегическим конкурентным преимуществом. Традиционные

системы полнотекстового поиска (Elasticsearch, Solr) обеспечивают лишь лексическое сопоставление запросов с документами и оказываются неэффективными при семантически близких, но лексически различных формулировках. Внедрение больших языковых моделей создает принципиально новые возможности для смысловой обработки корпоративных данных, однако изолированное использование LLM сопряжено с фундаментальными ограничениями: модели лишены доступа к актуальной внутренней документации организации, а емкость контекстного окна сдерживает объем передаваемой информации [1].

Технология дополненной генерации с поиском (Retrieval-Augmented Generation, RAG) устраняет указанные недостатки, сочетая нейросетевую генерацию с доказательно-ориентированным поиском по векторным представлениям документов [2]. Агентные архитектуры, в свою очередь, позволяют выйти за рамки единственного изолированного ответа: специализированные агенты способны декомпозировать многоступенчатые поручения, последовательно вызывать внешние инструменты и синтезировать финальный результат из разнородных источников данных [3]. Комбинирование RAG-конвейера с мультиагентной оркестрацией формирует продуктивную синергию, обеспечивающую высокую фактологическую точность ответов при широком функциональном охвате ассистента [4].

Настоящая статья посвящена описанию архитектуры, принятых технических решений и результатам нагрузочного тестирования разработанной системы, построенной на базе Java 21 и Spring Boot 3 в серверной части и Next.js 15 – в клиентской.

Сравнительный анализ архитектурных подходов к построению корпоративных ИИ-ассистентов

Современный рынок предлагает несколько парадигм реализации корпоративных систем на базе LLM: монолитные чат-боты без доступа к внутренним данным, гибридные решения на основе классического полнотекстового поиска с подстановкой результатов в промпт, а также полноценные RAG-конвейеры, дополненные векторными хранилищами. Совместное использование RAG с мультиагентной оркестрацией формирует наиболее функционально полный класс систем. Сравнительные характеристики подходов систематизированы в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ архитектурных подходов к построению ИИ-ассистентов

Характеристика	Монолитный LLM-чат	Полнотекстовый поиск + LLM	RAG + мультиагентная оркестрация
Доступ к актуальным корпоративным данным	Отсутствует	Частичный	Полный
Семантический поиск	Нет	Нет	Да
Поддержка гетерогенных форматов (PDF, DOCX, PPTX)	Нет	Нет	Да
Многошаговое рассуждение и вызов инструментов	Ограничено	Ограничено	Да
Интеграция внешних сервисов (почта, календарь)	Нет	Нет	Да
Распознавание речи и OCR	Нет	Нет	Да
Персонализация по профилю пользователя	Нет	Нет	Да

Из проведенного анализа следует, что гибридный подход с мультиагентной оркестрацией обеспечивает наиболее полное перекрытие функциональных требований корпоративного ассистента. Его практическая реализация предопределила выбор технологического стека: векторная база данных ChromaDB [5], объектное хранилище MinIO, система распознавания речи Faster-Whisper, а также обработчики офисных документов на базе библиотек Apache POI и Apache PDFBox.

Архитектура разработанной системы

Разрабатываемая система строится на принципах слоистой микросервисной архитектуры с инверсией управления (Inversion of Control, IoC), реализуемой контейнером Spring Framework. Все программное окружение упаковано в Docker-контейнеры и оркестрируется посредством Docker Compose; внешняя маршрутизация запросов осуществляется обратным прокси-сервером Caddy с автоматическим управлением TLS-сертификатами. Подобный подход обеспечивает воспроизводимость среды выполнения и горизонтальное масштабирование отдельных компонентов. Общая диаграмма компонентов системы представлена на рис. 1.

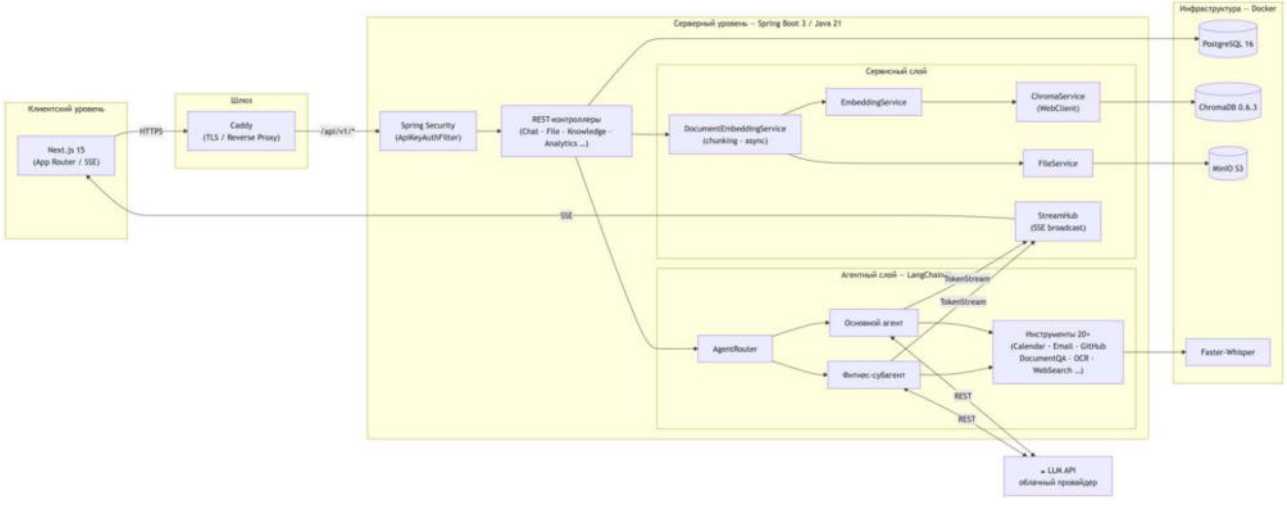


Рис. 1. Диаграмма компонентов разработанной системы

Серверная подсистема

Серверная часть системы написана на Java 21 с использованием Spring Boot 3, что обеспечивает строгую статическую типизацию, поддержку виртуальных потоков (Project Loom) и развитую экосистему интеграционных модулей. Все входящие HTTP-запросы первично обрабатываются слоем Spring Security: фильтр ApiKeyAuthFilter последовательно проверяет заголовок X-API-Key, после чего при его отсутствии переключается на валидацию Bearer-токена. Публичные эндпоинты (аутентификация, статика) вынесены из-под ограничений безопасности отдельными правилами SecurityFilterChain. Все чувствительные операции фиксируются в таблице аудита посредством сервиса AuditService, что обеспечивает полный журнал действий пользователей.

Оркестрация взаимодействия с LLM осуществляется через библиотеку LangChain4j [6]. Агентный слой реализован по паттерну «Маршрутизатор – Исполнитель»: компонент AgentRouter анализирует MIME-типы вложенных файлов и семантику пользовательского сообщения, после чего делегирует обработку одному из двух специализированных агентов. Основной агент, создаваемый фабрикой AgentFactory, оснащен более чем двадцатью зарегистрированными инструментами: WebFetchTool, DocumentQATool, DocumentReaderTool, DocumentDiffTool, OcrTool, CalendarTool, ReminderTool, TaskTool, EmailTool, WebSearchTool, CodeExecutorTool, PlannerTool, DigestBuilderTool и другие. Каждый инструмент является самостоятельным Spring-компонентом с единственной публичной аннотированной точкой входа, что упрощает тестирование и замену реализации. Фитнес-субагент специализирован на анализе рациона питания: он распознает блюда на фотографии через OcrTool, запрашивает

нутриентный состав через NutritionSearchTool и сохраняет результат в журнале питания через MealTool.

Потоковая передача генерируемых ответов клиенту реализована через механизм Server-Sent Events: библиотека LangChain4j возвращает объект TokenStream, токены которого публикуются в именованный канал StreamHub и транслируются подключенному клиенту. Подобный подход исключает блокировку серверного потока на все время генерации и обеспечивает субъективно высокую отзывчивость интерфейса при длинных ответах.

RAG-конвейер и механизм индексации документов

Ключевым компонентом системы является конвейер дополненной генерации с поиском, реализованный в сервисе DocumentEmbeddingService. После загрузки файла в MinIO сервис вызывается асинхронно (аннотация Async), что исключает блокировку пользователя на время обработки. Конвейер состоит из четырех последовательных этапов.

На первом этапе текстовый контент извлекается форматно-специфичными адаптерами: Apache PDFBox применяется для PDF-файлов, Apache POI – для форматов DOCX и PPTX, нативная потоковая обработка – для TXT. На втором этапе извлеченный текст разбивается на перекрывающиеся фрагменты с параметрами CHUNK_SIZE = 1000 символов и CHUNK_OVERLAP = 100 символов; перекрытие гарантирует сохранение смыслового контекста на границах фрагментов. На третьем этапе каждый фрагмент кодируется в вещественный вектор посредством EmbeddingService. На четвертом этапе полученные векторы вместе с метаданными источника (идентификатор файла, порядковый номер фрагмента) записываются в ChromaDB через реактивный клиент ChromaService, основанный на Spring WebClient.

При поступлении пользовательского вопроса DocumentQATool вычисляет его векторное представление, выполняет поиск ближайших соседей в соответствующей коллекции ChromaDB и передает релевантные фрагменты в системный промпт агента перед вторым обращением к LLM. Схема взаимодействия компонентов при обработке RAG-запроса представлена на диаграмме последовательности на рис. 2.

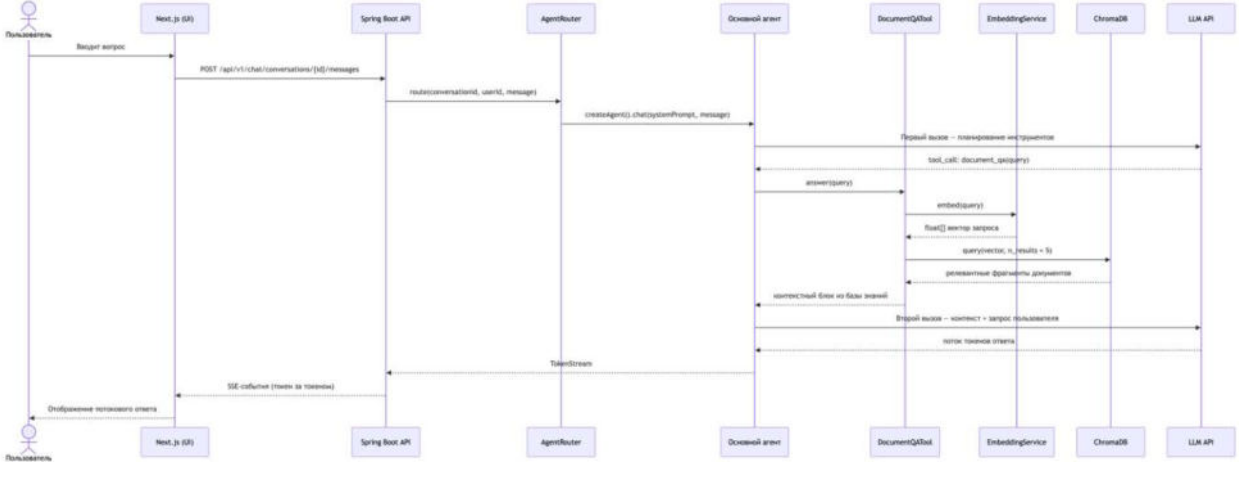


Рис. 2. Диаграмма последовательности обработки RAG-запроса

Клиентская подсистема

Пользовательский интерфейс построен на Next.js 15 с архитектурой App Router и концепцией React Server Components, что позволяет минимизировать объем клиентского JavaScript-бандла и оптимизировать показатель Time to First Byte [7]. Навигационная структура реализована в виде адаптивного дашборда с двенадцатью функциональными модулями:

– чат (потоковый диалог с агентами);
– база знаний (загрузка и индексация документов по коллекциям);
– файлы (менеджер объектного хранилища);
– задачи;

– напоминания;
– календарь (двусторонняя синхронизация через CalDAV);
– аналитика (метрики использования);
– фитнес (журнал питания и нутрициологические рекомендации);
– OCR (распознавание текста с изображений);
– подключения (управление внешними интеграциями);
– планировщик заданий.

Чат-интерфейс реализует SSE-стриминг на уровне слоя данных: при отправке сообщения клиент открывает долгоживущее HTTP-соединение с серверным эндпоинтом, и каждый поступающий токен немедленно дополняет отображаемый текст без ожидания завершения генерации. Запросы к внутреннему API проксируются через встроенный механизм переписывания маршрутов Next.js (rewrites в next.config.ts), что скрывает адрес серверной части от браузера и упрощает конфигурацию CORS. Пример чат-интерфейса представлен на рис. 3, интерфейс модуля управления базой знаний – на рис. 4.

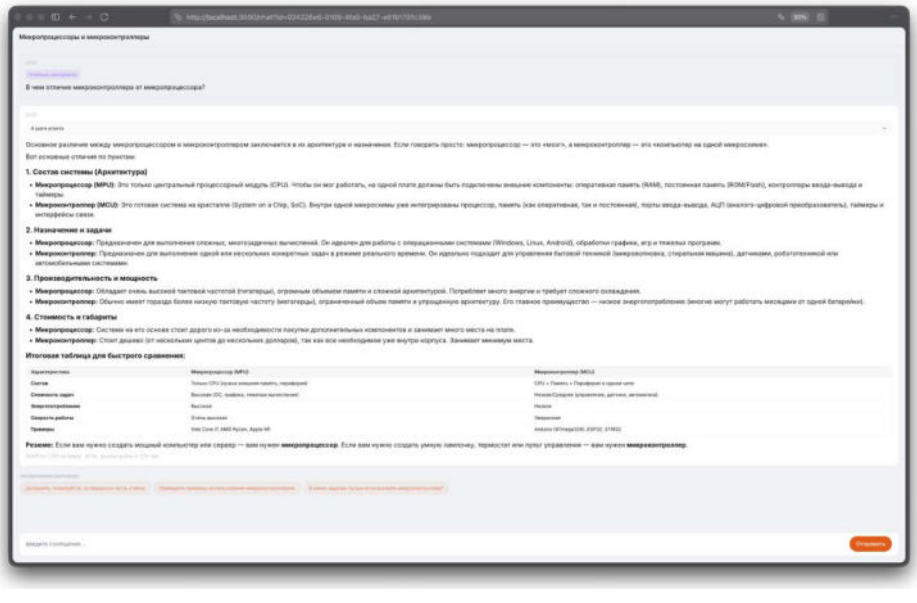


Рис. 3. Клиентский интерфейс чата с отображением потокового ответа агента

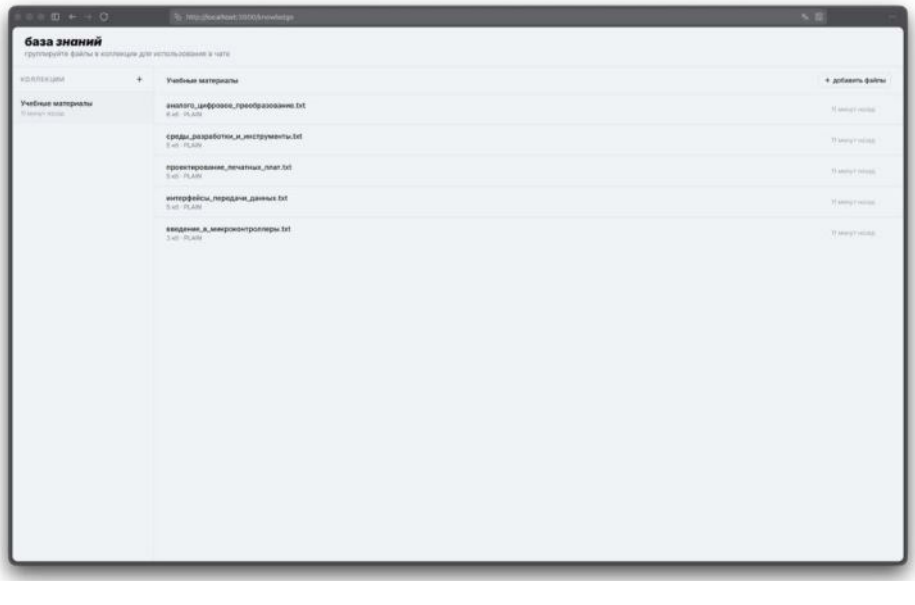


Рис. 4. Модуль управления коллекциями базы знаний

Тестирование производительности и оценка результатов

Для объективной оценки быстродействия разработанной системы проведено нагрузочное тестирование двух ключевых подсистем: RAG-конвейера и механизма индексации документов. Эксперименты выполнялись на стенде со следующими аппаратно-программными характеристиками: четырехъядерный виртуальный процессор (4 vCPU) с тактовой частотой 3,2 ГГц; 8 ГБ оперативной памяти стандарта DDR4; твердотельный накопитель объемом 120 ГБ. Серверный стек развернут посредством Docker Compose: PostgreSQL 16 (реляционное хранилище), ChromaDB 0.6.3 (векторная база данных), MinIO (объектное хранилище). Генерация текстовых ответов осуществлялась через REST API стороннего облачного провайдера; локальная обработка аудио – посредством контейнера Faster-Whisper.

В первой серии экспериментов исследовалась зависимость сквозного времени до первого токена (Time to First Token, TTFT) от суммарного числа векторных фрагментов в коллекции ChromaDB. В каждой точке измерений выполнялось 50 последовательных запросов с идентичным семантическим профилем; фиксировались медианное и максимальное значения TTFT, а также изолированное время выполнения запроса к ChromaDB. Результаты первой серии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость производительности RAG-конвейера от объема векторной коллекции

Фрагментов в коллекции	Медианное время поиска ChromaDB (мс)	Медианное TTFT (с)	Максимальное TTFT (с)
100	11	1,0	1,4
500	26	1,3	1,7
1000	52	1,7	2,2
5000	184	2,5	3,1
10000	391	3,4	4,3

Анализ полученных результатов свидетельствует о субсекундном времени векторного поиска при объеме коллекции до 1 000 фрагментов. При дальнейшем масштабировании задержка ChromaDB возрастает квазилинейно, сохраняя медианное TTFT в пределах 3,5 с даже при 10 000 фрагментах. Данное значение соответствует допустимым порогам отклика для интерактивных систем [8], что подтверждает пригодность предложенной архитектуры для корпоративной эксплуатации.

Во второй серии оценивалась производительность асинхронного конвейера индексации документов в зависимости от формата и объема входного файла. Время измерялось с момента помещения задачи в асинхронную очередь Spring до завершения записи всех векторов в ChromaDB. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики индексации документов различного формата и объема

Формат	Размер файла (МБ)	Извлеченных фрагментов	Время индексации (с)
TXT	0,2	19	0,9
DOCX	0,8	71	3,3
PDF	1,3	118	5,1
PPTX	2,1	177	8,4
PDF	5,7	502	22,1

Полученные данные демонстрируют, что время индексации определяется преимущественно числом извлеченных фрагментов, а не исходным форматом файла. Это свидетельствует о сбалансированности реализованных адаптеров текстовой экстракции: конвертация DOCX и PPTX посредством Apache POI и обработка PDF через Apache PDFBox обеспечивают сопоставимую удельную пропускную способность на один фрагмент. Асинхронная природа процесса (аннотация Async) исключает блокировку пользовательского интерфейса на время обработки крупных файлов.

Совокупность результатов обеих серий подтверждает применимость разработанной системы к корпоративной эксплуатации при объемах баз знаний до 10 000 фрагментов на коллекцию с сохранением приемлемых характеристик пользовательского опыта.

Заключение

В настоящей работе представлены архитектура и результаты нагрузочного тестирования корпоративной интеллектуальной платформы, основанной на интеграции технологии дополненной генерации с поиском и мультиагентной оркестрации. Серверная часть, реализованная на Java 21 с применением Spring Boot 3 и LangChain4j, обеспечивает асинхронную индексацию разнородных документов в векторное хранилище ChromaDB, маршрутизацию запросов между специализированными агентами, взаимодействие с внешними сервисами посредством инструментального вызова и потоковую передачу генерируемых ответов через Server-Sent Events. Клиентская часть на базе Next.js 15 предоставляет адаптивный интерфейс с двенадцатью функциональными модулями.

Нагрузочное тестирование показало, что медианное время до первого токена не превышает 3,5 с при объеме коллекции в 10 000 документарных фрагментов, а скорость индексации линейно зависит от числа извлекаемых фрагментов вне зависимости от формата исходного файла. Перспективными направлениями развития системы являются внедрение гибридного поиска (совмещение семантического и лексического ранжирования), поддержка графовых баз знаний для многосвязных предметных областей и реализация механизмов долгосрочной агентной памяти.

Список литературы

1. Шмат, А. В. Применение больших языковых моделей и технологии Retrieval-augmented Generation для корпоративных ассистентов / А. В. Шмат // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2024. – №10. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bolshih-yazykovyh-modeley-i-tehnologii-retrieval-augmented-generation-dlya-korporativnyh-assistentov (дата обращения: 25.06.2026).

2. Сапаргалиева, Н. Н. Архитектурная эволюция и методологические основы агентных систем искусственного интеллекта / Н. Н. Сапаргалиева, А. М. Сейтказиева // Вестник науки. – 2026. – №3 (96). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturnaya-evolyutsiya-i-metodologicheskie-osnovy-agentnyh-sistem-iskusstvennogo-intellekta (дата обращения: 25.06.2026).

3. Намиот, Д. Е. Архитектура LLM-агентов / Д. Е. Намиот, Е. А. Ильюшин // International Journal of Open Information Technologies. – 2025. – №1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-llm-agentov (дата обращения: 25.06.2026).

4. Андрончик, Г. В. Оптимизация бизнес-процессов с помощью LLM / Г. В. Андрончик // Universum: технические науки. – 2025. – №5 (134). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-biznes-protsessov-s-pomoschyu-llm (дата обращения: 25.06.2026).

5. Официальная документация ChromaDB [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.trychroma.com/ (дата обращения: 25.06.2026). – Текст: электронный.

6. Официальная документация LangChain4j [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.langchain4j.dev/intro (дата обращения: 25.06.2026). – Текст: электронный.

7. Официальная документация Next.js [Электронный ресурс]. – URL: https://nextjs.org/docs (дата обращения: 25.06.2026). – Текст: электронный.

8. Искандарова, С. А. ИИ-агенты в корпоративном управлении: архитектурные решения и практики внедрения / С. А. Искандарова // Вестник науки. – 2025. – №6 (87). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ii-agenty-v-korporativnom-upravlenii-arhitekturnye-resheniya-i-praktiki-vnedreniya (дата обращения: 25.06.2026).

УДК 004.43

ПРИМЕНЕНИЕ ИИ-АГЕНТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ МАРКЕТИНГОВОГО КОНТЕНТА

Перов А.М., студент магистратуры;
E-mail: arthurpe34@yandex.ru;
Тахавова Э.Г., к.т.н., доцент кафедры АСОИУ, научный руководитель, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

THE USE OF AI AGENTS TO AUTOMATE THE MARKETING CONTENT CREATION PROCESS

Perov A.M., master's student;
E-mail arthurpe34@yandex.ru;
Takhavova E.G., candidate of technical sciences, Associate Professor of ASOIU Department, supervisor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена применению интеллектуальных агентных систем для автоматизации генерации и управления маркетинговыми материалами. Рассматривается подход, основанный на использовании типизированных компонентных структур и механизмов функционального вызова, направленный на повышение надежности генерации и снижение логических искажений больших языковых моделей. Предложенная архитектура объединяет автоматизированный синтез контента и экспертный контроль, обеспечивая сокращение времени выполнения рутинных операций верстки и контент-менеджмента при сохранении качества итогового продукта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ИИ-агенты, большие языковые модели, автоматизация бизнес-процессов, создание базы знаний, генерация контента, цифровой маркетинг

Abstract

The article describes application of intelligent agent systems to automate information materials generation and management in marketing. The proposed approach uses typed component structures and function-calling mechanisms that provide improving generation reliability and reducing logical distortions of large language models. The proposed architecture combines automated content synthesis with expert control, enabling the routine layout time reduction and appropriate content management level while maintaining the quality of the final digital product.

Keywords: artificial intelligence, AI agents, large language models, business process automation, knowledge base creation, content generation, digital marketing

Введение

В условиях стремительной цифровизации экономики оперативная генерация релевантного маркетингового контента становится критическим фактором конкурентоспособности

предприятий. Традиционные подходы к формированию информационных материалов сопряжены с высокими трудозатратами квалифицированного персонала на выполнение монотонных операций проектирования и верстки. Автоматизация указанных процессов позволяет оптимизировать ресурсные издержки, перераспределяя фокус внимания профильных специалистов с механического конструирования макетов на стратегическое планирование и решение творческих задач [1].

Исторически сложившиеся методологии производства цифровых материалов базируются на последовательном и зачастую разрозненном ручном труде копирайтеров, веб-дизайнеров и контент-менеджеров. Указанные подходы объективно уступают интеллектуальным решениям в скорости масштабирования и гибкости адаптации под требования узких целевых аудиторий. Основная часть рабочего времени специалистов при использовании классических паттернов расходуется не на смысловую проработку, а на преодоление «страха чистого листа», поиск стилистических референсов, длительное согласование микроизменений между смежными отделами и механическую компоновку текстово-графических блоков в единую структуру. Кроме того, ручная адаптация одного и того же исходника под различные каналы дистрибуции экспоненциально увеличивает производственный цикл, снижая общую рентабельность маркетинговых кампаний [2].

Решение данной проблемы видится во внедрении автономных ИИ-агентов, функционирующих на базе больших языковых моделей (LLM). В отличие от классических скриптов автоматизации или базовых диалоговых интерфейсов, агентные системы обладают способностью к декомпозиции комплексных поручений, планированию последовательности действий и взаимодействию с внешними программными интерфейсами. [3]

Использование подобных алгоритмов трансформирует парадигму взаимодействия человека и машины: программный комплекс не просто генерирует текст по изолированному запросу, а выступает в роли интеллектуального ассистента, способного оперировать структурными элементами документа и динамически адаптироваться под меняющийся контекст бизнес-задачи [3].

При этом полная автономизация процесса сопряжена с рисками потери контроля над корпоративной стилистикой и фактологической точностью выпускаемого материала. Вследствие этого фундаментальной остается концепция «человек-в-цикле» (human-in-the-loop). Непосредственное участие эксперта необходимо для проверки предложенных архитектурных решений, тонкой смысловой настройки и утверждения финального результата, что гарантирует абсолютное соответствие контента заданным метрикам качества [4].

Применение ИИ-агентов для автоматизации бизнес-процесса

Агентная система представляет собой программную сущность, наделенную способностью воспринимать цифровую среду через входящие данные, принимать обоснованные решения на основе заложенных языковых моделей и оказывать воздействие на эту среду посредством вызова внешних инструментов. В контексте разработки маркетинговых кампаний такой механизм выступает в качестве проактивного соавтора. Он способен анализировать текущее состояние макета, выявлять недостающие смысловые узлы и предлагать оптимальные варианты их заполнения, опираясь на внутреннюю базу знаний [5]. Базовые преимущества интеграции подобных архитектур в корпоративную среду представлены в табл. 1.

Архитектура предлагаемого решения

Программная реализация описываемой платформы базируется на объектно-ориентированном языке Java и фреймворке Spring Boot, что обеспечивает высокую производительность и отказоустойчивость серверной инфраструктуры. Оркестрация взаимодействия с большими языковыми моделями осуществляется посредством библиотеки LangChain4j [6, 7]. Проектирование компонентной базы строго подчинено принципам SOLID, что гарантирует слабую связность модулей и легкость расширения функционала при масштабировании системы.

Таблица 1

Преимущества внедрения агентных систем

Характеристика	Описание преимущества
Адаптивность	Способность алгоритма динамически подстраиваться под изменяющийся контекст задачи и стилистические требования в режиме реального времени.
Интероперабельность	Эффективное взаимодействие агента со сторонними сервисами и внутренними базами данных посредством API-вызовов.
Контекстная осведомленность	Удержание и анализ объемного контекста на протяжении всего жизненного цикла документа, предотвращающее логические разрывы.
Снижение когнитивной нагрузки	Делегирование рутинных операций форматирования и первичного драфтинга алгоритмам, высвобождающее время для профильных задач.

Во избежание феномена генеративных искажений, в архитектуру заложен детерминированный механизм работы на основе изолированных шаблонов. Итоговый документ формируется из совокупности строительных элементов: заранее запрограммированных статических компонентов (заголовок, контейнер, навигационная кнопка) и так называемых «гибких блоков» (flexible blocks). Функционируя в парадигме вызова инструментов (tool calls), агент обладает доступом к реестру спецификаций доступных компонентов. Проанализировав пользовательский запрос, система способна выбрать релевантный шаблон и безопасно индицировать его в структуру страницы, либо синтезировать наполнение для гибкого блока, строго соблюдая установленные ограничения формата [8].

Ключевой особенностью предложенной архитектуры является непрерывность ассистирования на всех стадиях разработки. Интеллектуальный алгоритм учитывает глобальное состояние редактируемого материала – от инициализации первого абзаца до финального ревью. Данная характеристика позволяет реализовать гибридный паттерн взаимодействия: пользователь имеет возможность делегировать платформе генерацию объемных секций по заданным промптам, сохраняя при этом право на точечную ручную модификацию любых сгенерированных фрагментов, обеспечивая компромисс между скоростью продакшена и достоверностью данных.

Главная страница разработанного приложения представляет собой чат с ИИ-агентом, пользователь описывает свой запрос с помощью естественного языка, при необходимости есть возможность указать требования, например, использование дизайн-системы компании, пример страницы с чатом представлен на рис. 1.

Оценка эффективности предлагаемой платформы

Для оценки результативности разработанного программного комплекса было проведено профилирование подсистемы генерации и замер скорости отклика интерфейса. Серверная часть приложения, отвечающая за оркестрацию запросов и бизнес-логику, функционировала на стенде со следующими аппаратными характеристиками: восьмиядерный виртуальный процессор (8 vCPU) с тактовой частотой 3,6 ГГц, 8 ГБ оперативной памяти стандарта DDR4 и твердотельный накопитель (SSD) объемом 120 ГБ. В качестве интеллектуального ядра применялась большая языковая модель Qwen3.6 параметрической емкостью 27 млрд весов (27B). Вычислительные мощности для работы нейросети предоставлялись сторонним облачным провайдером, а взаимодействие между локальным сервером и моделью осуществлялось посредством REST API.

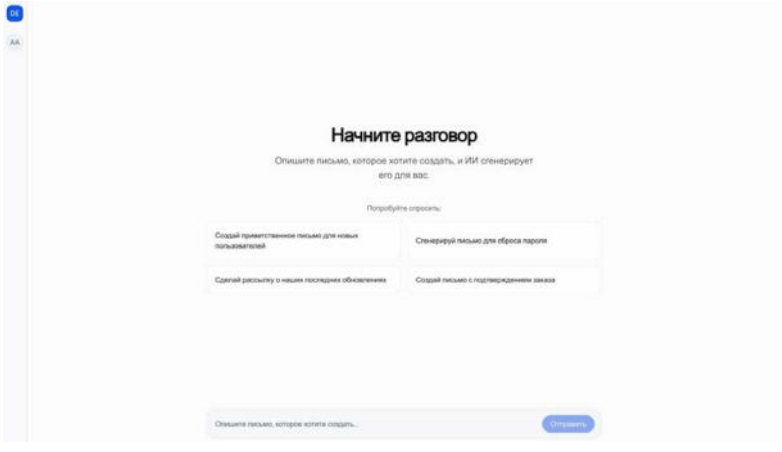


Рис. 1. Страница с чатом

Пример генерации шаблона по запросу пользователя представлен на рис. 2.

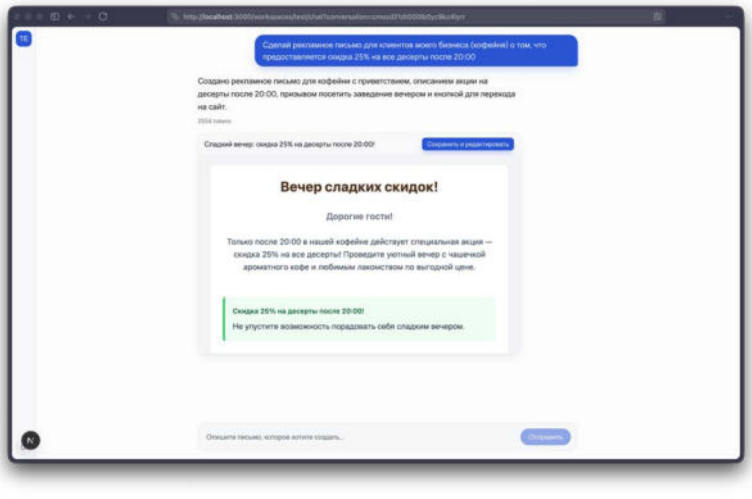


Рис. 2. Пример генерации шаблона по запросу пользователя

Пример запроса пользователя на доработку сохраненного шаблона представлен на рис. 3.

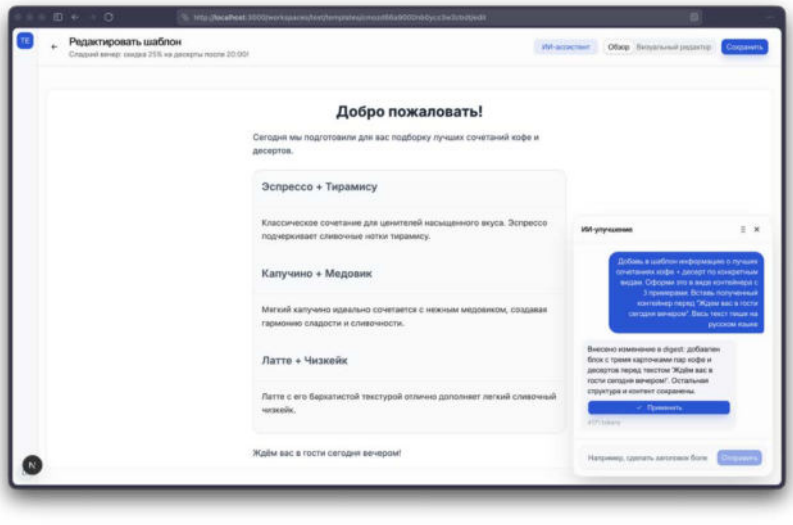


Рис. 3. Пример доработки сохраненного шаблона

В ходе эксперимента исследовалась зависимость среднего времени обработки запроса от объема передаваемого входного контекста, измеряемого в токенах. Замеры производились в условиях имитации реальной эксплуатационной нагрузки при серийном вызове функций (tool calls) и заполнении гибких блоков. Полученные эмпирические данные структурированы в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость скорости генерации контента от объема входного запроса

Объем входного контекста (токены)	Среднее время обработки (секунды)
500	0,42
1000	0,85
2000	1,60
4000	3,05
8000	6,80

Анализ представленных результатов свидетельствует о высокой производительности и отзывчивости интегрированной системы. В реальных условиях эксплуатации формирование или комплексная модификация стандартного контентного макета (содержащего промпт объемом около 4000 токенов) занимает в среднем три секунды. Подобный уровень задержки (latency) является оптимальным и обеспечивает комфортное взаимодействие оператора с платформой в синхронном режиме, сохраняя бесшовность концепции «человек-в-цикле».

Заключение

В работе представлена концептуальная модель и программная архитектура интеграции интеллектуальных ИИ-агентов в процессы разработки маркетинговых материалов на базе стека Java и фреймворка Spring.

Практическая проверка показала, что использование гибких блоков совместно с механизмом tool calls надежно изолирует платформу от стохастических ошибок генеративных сетей и обеспечивает высокую предсказуемость результата компоновки.

Рассмотренный подход подтверждает перспективность симбиоза человеческой экспертизы и машинной производительности, где алгоритмы берут на себя структурно-синтаксическую организацию пространства, предоставляя пользователю полный контроль над финальным качеством выпускаемого продукта.

Список литературы

1. Васильева, Н. К. Цифровизация экономики России / Н. К. Васильева, Е. А. Болотнова, К. Д. Берёза, А. В. Булатникова // Вестник Академии знаний. – 2025. – №4 (69). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-ekonomiki-rossii-1 (дата обращения: 11.05.2026).

2. Колосова, Д. М. Основы цифрового маркетинга / Д. М. Колосова, К. А. Кузьмин, В. Е. Лебедь // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2022. – №11-1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovy-tsifrovogo-marketinga (дата обращения: 11.05.2026).

3. Андрончик, Г. В. Оптимизация бизнес-процессов с помощью LLM / Г. В. Андрончик // Universum: технические науки. – 2025. – №5 (134). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-biznes-protsessov-s-pomoschyu-llm (дата обращения: 11.05.2026).

4. Сапаргалиева, Н. Н. Архитектурная эволюция и методологические основы агентных систем искусственного интеллекта / Н. Н. Сапаргалиева, А. М. Сейтказиева // Вестник науки. – 2026. – №3 (96). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturnaya-evolyutsiya-i-metodologicheskie-osnovy-agentnyh-sistem-iskusstvennogo-intellekta (дата обращения: 11.05.2026).

5. Искандарова, С. А. ИИ-агенты в корпоративном управлении: архитектурные решения и практики внедрения / С. А. Искандарова // Вестник науки. – 2025. – №6 (87). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ii-agenty-v-korporativnom-upravlenii-arhitekturnye-resheniya-i-praktiki-vnedreniya (дата обращения: 11.05.2026).

6. Официальная документация Spring [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.spring.io/ (дата обращения: 11.05.2026). – Текст: электронный.

7. Официальная документация Langchain4j [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.langchain4j.dev/intro (дата обращения: 11.05.2026). – Текст: электронный.

8. Намиот, Д. Е. Архитектура LLM агентов / Д. Е. Намиот, Е. А. Ильюшин // International Journal of Open Information Technologies. – 2025. – №1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-llm-agentov (дата обращения: 11.05.2026).

УДК 621.311.6

FEATURES OF SYNCHRONOUS ENGINE OPTIMIZATION WITH PERMANENT MAGNETS WITH MULTI-CRITERIA TARGET FUNCTION

Petrov T.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-8733-8914;
Tuychiev F.N., PhD, senior lecturer of the department, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Republic of Uzbekistan

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИЕЙ

Петров Т.И., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-8733-8914;
Туйчиев Ф.Н., к.т.н., старший преподаватель кафедры Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Abstract

The article discusses theoretical aspects and features of mathematical modeling of permanent magnet synchronous motors (PMSM) in multi-criteria optimization problems. The advantages and disadvantages of various modeling approaches are analyzed: analytical methods, finite element method, finite difference method, and equivalent magnetic circuit method. Key factors affecting the adequacy of models in optimization are identified: consideration of magnetic system nonlinearity, harmonic field composition, temperature dependencies, and saturation effects. Requirements for mathematical models used in multi-criteria parametric optimization of PMSMs are formulated.

Keywords: permanent magnet synchronous motor, PMSM, multi-criteria optimization, mathematical modeling, finite element method

Аннотация

В статье рассматриваются теоретические аспекты и особенности математического моделирования синхронных двигателей с постоянными магнитами (PMSM) в задачах многокритериальной оптимизации. Анализируются преимущества и недостатки различных подходов к моделированию: аналитические методы, метод конечных элементов, метод конечных раз-

ностей и метод эквивалентной магнитной цепи. Выявлены ключевые факторы, влияющие на адекватность моделей в оптимизации: учет нелинейности магнитной системы, состав гармонического поля, температурные зависимости и эффекты насыщения. Сформулированы требования к математическим моделям, используемым в многокритериальной параметрической оптимизации синхронных двигателей с постоянными магнитами.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами, синхронный двигатель с постоянными магнитами, многокритериальная оптимизация, математическое моделирование, метод конечных элементов

Introduction

PMSMs have become a common choice for modern electric drives. Why? They offer high power density, good torque-to-mass ratio, and fast dynamic response. Unlike induction motors, they use rare-earth magnets, so there are no rotor windings to supply with current. This cuts losses and makes the machine more compact [1]. You can find them in industrial robots, electric cars, and even aircraft actuators [2]. With the push for better energy efficiency, they are now a key part of many new electromechanical systems.

But designing a PMSM is not easy. The engineer faces a set of conflicting goals [1]. You want high torque and power density. At the same time, you need low cogging torque and small ripple. You also want to keep the motor light and cheap. These demands pull against each other [3]. To find a good compromise, you need two things: a reliable model and an optimization method that can handle multiple objectives at once [4].

The model matters a lot. If it does not describe the motor well enough, the optimization results will be useless. But the choice of a modeling method is not obvious. It affects the accuracy of torque and EMF calculations. It also affects how long each simulation takes. When you run thousands of optimization steps, this becomes a major issue [5].

What methods are available? Simple analytical models, especially those based on subdomain techniques, are fast. They can predict the air-gap field reasonably well [6]. Newer versions even include core permeability effects, which improves accuracy. More advanced are equivalent magnetic circuit models. They handle saturation and give better integral results, yet they are still much faster than full field solvers [7]. But they are not good at resolving field harmonics in detail. For that, you need finite element analysis. FEM handles complex shapes and nonlinear material properties with high precision [8]. The problem is speed. A single FEM run takes minutes or hours. Running thousands of them for optimization is just not practical.

So we have a dilemma. Good optimization needs accurate models. Practical optimization needs fast models. One way around this is to build surrogates: simplified approximations trained on a small set of FEM results. They are fast and preserve much of the accuracy. Another path is to use hybrid schemes that mix analytical formulas, neural network surrogates, and genetic algorithms. Multi-stage strategies also help. You use a rough model for screening and a fine one only for final checks.

The push for digitalization adds another layer to this picture. Industry 4.0 promotes digital twins: virtual replicas that mirror physical systems throughout their lifecycle. For PMSMs, a digital twin must be accurate enough for performance forecasting yet fast enough for real-time use. Surrogate models fit this need perfectly. Trained on FEM data, they can serve as the core of a digital twin, providing rapid predictions without the cost of full field solutions. Optimization thus becomes part of a closed loop: design, operate, monitor, update, and redesign. The modeling choices we discuss are therefore not just academic; they are practical necessities for modern digital engineering workflows. As sensors and data acquisition become cheaper and more widespread, the integration of real-time measurements with simulation models will become standard practice. This trend places new demands on modeling methods: they must not only be accurate but also compatible with data-driven updating and capable of running on cloud or edge computing platforms. The hybrid strategies we consider are well positioned to meet these demands.

This paper is about choosing the right model for PMSM optimization. We compare the main approaches, look at what physical effects matter most, and suggest what accuracy is needed at each design stage. Our aim is to give practical advice that helps engineers pick the right tool for the job.

Methodology

Models of electric machines fall into a few broad classes. The difference is how much physics they include and how detailed they are.

First come analytical models. They are built on simplified equations. Typically, they use the d-q reference frame and equivalent circuits. The math is straightforward. Implementation is quick. But they leave out saturation and harmonics. The result? Errors of 15 to 20% in torque and back-EMF. That is fine for a rough estimate but not for final design.

The equivalent magnetic circuit (EMC) approach is a step up. The magnetic path is broken into lumped elements: reluctances and MMF sources. This way, you can include saturation, at least partially. The model runs much faster than FEM and gives better accuracy than pure analytical methods. The catch? Complex tooth geometries are hard to represent. Harmonic content is still poorly captured.

Finally, there is finite element analysis. This method solves Maxwell's equations on a mesh. It handles real geometry, nonlinear material properties, and local field variations. The variational formulation for magnetic vector potential A minimizes the following functional:

$$F(A) = \int_{\Omega} \left(\frac{1}{2\mu} \mid \nabla \times A \mid^2 - J \cdot A \right) d\Omega \rightarrow \min . \quad (1)$$

FEM gives excellent results for both integral quantities and local field distributions. You can also extract the full harmonic spectrum. But the cost is high: long run times and heavy memory use.

Table 1 summarizes these differences.

Table 1

Comparison of PMSM modeling methods

Criterion	Analytical	EMCM	FEM
Accuracy of integral characteristics	Medium	Medium	High
Accuracy of local characteristics	Low	Low	High
Saturation consideration	Conditional	Partial	Full
Harmonic field consideration	No	No	Full
Calculation speed	High	Medium	Low
Applicability for optimization	High	Medium	Limited

Surrogate modeling is one way to make optimization practical. The idea is simple. First, you pick a set of design points using a design-of-experiments method. Latin hypercube sampling works well. You run FEM for each point to get the objective values. This becomes your training set. Then you fit a response surface. There are many options: Kriging, polynomial regression, radial basis functions, neural networks. Once trained, the surrogate stands in for the FEM during optimization. To check reliability, you validate it on a separate test set. Adaptive infill strategies add new points where the model is uncertain. This whole approach, often called efficient global optimization, can cut the number of FEM runs from thousands to a few hundred.

Results

Comparing the modeling methods shows big differences in performance. Analytical models are fast. That is their main advantage. But they are not accurate. We saw torque errors of 15 to 20% in our tests. The reason? They ignore saturation and higher harmonics. Equivalent magnetic circuits improve things. Errors drop to 5-10% for integrated values. But local field features are still poorly cap-

tured. FEM is the most accurate: errors below 3% for integral characteristics and 5-8% for local fields. But it takes much longer: two or three orders of magnitude more than analytical models. That rules out direct use in optimization loops where you need thousands of runs.

What physical effects actually matter? We identified four. Magnetic nonlinearity changes torque under heavy load. If you ignore it, your model will be wrong. Harmonics in the air-gap field cause torque ripple and noise. You need to predict them if you care about smooth operation. Temperature changes the properties of rare-earth magnets. As the motor heats up, flux drops. Your model should account for this. Finally, saturation gets worse at high current. Simplified models often fail in these conditions.

Let us illustrate this with a concrete case. Take a surface-mounted PMSM rated at 5 kW and 3000 rpm. An analytical model gives a torque prediction of 15.2 N·m. FEM says 16.7 N·m. That is a 9% difference. Where does it come from? Saturation in the stator teeth. The analytical model simply does not see it. For torque ripple, the gap is even wider. Analytical models suggest less than 2% ripple. FEM shows 8.5%. The harmonics from slotting are the cause. This example shows that you cannot trust analytical models for more than a first guess. The EMC model does better: torque within 3% of FEM, ripple within 2 percentage points. It gives a reasonable compromise.

Temperature is worth a closer look. NdFeB magnets lose about 0.11 to 0.13% of their flux per degree Celsius. At 150°C, that adds up to 15-20% loss relative to room temperature. A motor designed for full torque at 20°C may not deliver the same torque at 150°C. To avoid this, the model must include thermal derating. That means coupling electromagnetic and thermal simulations, which raises the computational cost even more. Surrogate models become almost essential here.

The accuracy you need depends on where you are in the design process. For screening, 10-15% errors are acceptable. Analytical or EMC models can cover the design space in hours. For local refinement, you want better than 5% error. That means FEM plus surrogates, and the computation takes days. For verification, you need the highest fidelity: less than 3% error. That is 3D FEM, and it may take weeks. Table 2 sums this up.

Table 2

Requirements for models at different optimization stages

Optimization Stage	Required Accuracy	Allowable Time	Recommended Method
Preliminary search	Medium	Hours	Analytical, EMCM
Local optimization	High	Days	FEM + Surrogate models
Verification	High	Weeks	FEM (3D)

The best approach is often a hybrid one. Use different models at different stages. This can cut total computation time by 50 to 80% while keeping near-FEM accuracy. But surrogates have risks. They can extrapolate badly if not validated carefully. And analytical models, fast as they are, should not be used for final decisions. In the end, you have to choose based on accuracy needs, time available, and the specifics of your problem.

Conclusions

For multi-criteria PMSM optimization, your model must include saturation, harmonics, temperature effects, and manufacturing constraints. Leave any of these out, and your results will be off.

Choosing a model is a trade-off between accuracy and cost. Analytical and EMC models are quick but limited. They are fine for early work. For local optimization, FEM plus surrogates gives you the needed precision. Final checks still need 3D FEM, even though it is slow.

Our practical advice is this. Start with analytical models to understand the design space. Move to EMC models for a preliminary optimization, narrowing down the search. Then use FEM with surrogates for refinement, validating the surrogate as you go. Finally, verify with full 3D FEM. This step-

wise approach keeps the computational burden manageable. No single tool does everything. A staged strategy, moving from coarse to fine, is the way to go.

Acknowledgments

The results of the study were obtained with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under state assignment No. 075-03-2026-543 dated January 16, 2026, on the topic «Development of innovative components for electric vehicles of various climates using digital twin technology»

References

1. Mao Y., Wang Y., Niu S., et al. Review of the multi-objective optimization of permanent magnet synchronous motors // Chinese Journal of Electrical Engineering. – 2026. – Vol. 12, № 2. – P. 23–44.

2. Son J. C. Conceptual design strategy of the permanent magnet synchronous motors using three-dimensional static finite element analysis // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2023. – DOI 10.1007/s42835-023-01672-z.

3. Cvetkovski G., Petkovska L. Selected nature-inspired algorithms in function of PM synchronous motor cogging torque minimisation // Power Electronics and Drives. – 2021. – Vol. 6, № 1. – P. 204–217. – DOI 10.2478/pead-2021-0012.

4. Wang L., Zhang S., Cai W., et al. A novel multistructure equivalent magnetic network model for PMSM with enhanced magnetic field analysis and saturation compensation // IEEE Transactions on Transportation Electrification. – 2025. – Vol. 11, № 5. – P. 11692–11700.

5. Li S., Xu W. Nonlinear coupled multi-physics field analysis of permanent magnet synchronous motor combining finite element analysis with optimized meshless method // Numerical Heat Transfer, Part A: Applications. – 2025. – Vol. 86, № 21. – P. 7449–7491. – DOI 10.1080/10407782.2024.2351597.

6. Zhang K. J., Liu L. X. Analytical modeling and calculation of high-speed surface mounted PMSM based on subdomain method // 2024 IEEE 7th International Electrical and Energy Conference (CIEEC). – Harbin, 2024. – P. 647–652.

7. Zhang W. J., Xu Y. L., Tian X., Nguyen N. K., Semail E. Dynamic equivalent magnetic network model and drive system of permanent magnet synchronous motor with double V-shaped magnet structure // Mechatronics. – 2023. – Vol. 96. – DOI 10.1016/j.mechatronics.2023.103091.

8. Sardar M. U., Hassan M., Mastoi M. S., et al. Rotor profile optimization for high-performance IPMSMs in electric vehicles // Journal of Electrical Systems and Information Technology. – 2025. – Vol. 12, № 1. – P. 1–21. – DOI 10.1186/s43067-025-00304-y.

УДК 338.24:004

ЦИФРОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ МАЛОГО БИЗНЕСА В ПЛАТФОРМЕННОЙ ЭКОНОМИКЕ. РЕГИОНАЛЬНЫЙ ОПЫТ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Полторыхина С.В., д.э.н., доцент, профессор кафедры «Финансовая аналитика и поведенческая экономика» ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет» им. В.Г. Тимирясова, г. Казань, Россия

DIGITAL RESILIENCE OF SMALL BUSINESSES IN THE PLATFORM ECONOMY. REGIONAL EXPERIENCE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Poltorykhina S.V., Doctor of Economics, Associate Professor, Professor, Department of Financial Analytics and Behavioral Economics, V.G. Timiryasov Kazan Innovation University, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена оценке цифровой устойчивости субъектов малого и среднего предпринимательства Республики Татарстан в условиях расширения платформенной экономики. Цель исследования состоит в обосновании региональной модели, которая позволяет сочетать использование маркетплейсов и цифровых сервисов с сохранением управленческой, финансовой и информационной самостоятельности малого бизнеса. Методологическая основа включает системный и институциональный подходы, сравнительный анализ, анализ вторичных статистических данных и логическое моделирование. Информационную базу составили сведения органов государственной статистики и исполнительных органов Республики Татарстан, материалы о развитии электронной торговли, нормативные документы и международные исследования цифровизации малых предприятий. Определено, что маркетплейсы обеспечивают малому бизнесу выход на российский рынок, трафик, платежные сервисы, продвижение товара, логистический сервис, доставку товаров. В то же время субъекты малого и среднего бизнеса подпадают под зависимость от платформы, которая обеспечиваю клиентскую аналитику, осуществляют управление спросом и диктуют правила работы. По причине масштабности развития предпринимательства в Татарстане, в том числе стремительного роста самозанятых эта проблема весьма актуальна. В статье предложена дееспособная модель адаптации бизнеса, в составе которой четыре направления – финансы, технологии, работу с данными и правовую защищенность. Использование этой системы делает обязательным для предпринимателей овладение инструментами моделирования маржинальности, создание и использования собственной CRM-базы, одновременно развития независимых точек розничной и оптовой продажи и регулярного аудита комиссионных рисков. Новизной исследования является предложенная комплексная матрица, определяющая уровень цифровых навыков собственников в соответствии с жизнеспособностью всей коммерческой структуры. Результаты могут быть использованы региональными органами власти, центрами поддержки предпринимательства и самими компаниями при выборе цифровой стратегии. Предлагаемый подход ориентирован на практическую оценку решений и не требует создания сложной цифровой инфраструктуры на начальном этапе. Сделан вывод, что результативность региональной цифровой политики следует оценивать не только по числу продавцов на маркетплейсах и обороту, но и по маржинальности, диверсификации каналов, доступу к данным и способности предприятий сохранять самостоятельность.

Ключевые слова: платформенная экономика, малое и среднее предпринимательство, цифровая устойчивость, маркетплейсы, Республика Татарстан, электронная торговля, цифровизация, данные клиентов, региональная политика

Abstract

This article assesses the digital resilience of small and medium-sized businesses in the Republic of Tatarstan amid the expansion of the platform economy. The objective of the study is to substantiate a regional model that combines the use of marketplaces and digital services while maintaining the managerial, financial, and informational independence of small businesses. The methodological framework includes systemic and institutional approaches, comparative analysis, secondary statistical data analysis, and logical modeling. The information base consists of data from state statistics agencies and executive bodies of the Republic of Tatarstan, materials on the development of e-commerce, regulatory documents, and international studies on the digitalization of small businesses. It is determined that marketplaces provide small businesses with access to the Russian market, traffic, payment services, product promotion, logistics services, and delivery. At the same time, small and medium-sized businesses are dependent on the platform, which provides customer analytics, manages demand, and dictates operating rules. Given the scale of entrepreneurship development in Tatarstan, including the rapid growth of the self-employed, this issue is highly relevant. This article proposes a viable business adaptation model, encompassing four areas:

finance, technology, data management, and legal security. This system requires entrepreneurs to master marginality modeling tools, create and use their own CRM database, simultaneously develop independent retail and wholesale outlets, and regularly audit commission risks. The study's novelty lies in the proposed comprehensive matrix, which determines the level of owners' digital skills in accordance with the viability of the entire commercial structure. The results can be used by regional authorities, entrepreneurship support centers, and companies themselves when choosing a digital strategy. The proposed approach focuses on the practical evaluation of solutions and does not require the creation of a complex digital infrastructure at the initial stage. It is concluded that the effectiveness of regional digital policy should be assessed not only by the number of sellers on marketplaces and turnover, but also by marginality, channel diversification, access to data, and the ability of enterprises to maintain independence.

Keywords: platform economy, small and medium-sized businesses, digital sustainability, marketplaces, the Republic of Tatarstan, e-commerce, digitalization, customer data, regional policy

Введение

Платформенная экономика меняет способ организации малого бизнеса: поиск клиента, прием платежей, логистика, реклама и аналитика все чаще объединяются в единой цифровой среде. Для предпринимателя это снижает стоимость выхода на рынок и уменьшает потребность в собственной инфраструктуре. Вместе с тем платформа становится не нейтральным техническим каналом, а участником, задающим правила допуска, ранжирования, возвратов, продвижения и доступа к информации о покупателях.

Республика Татарстан представляет показательный регион для изучения этого процесса. По данным Министерства экономики Республики Татарстан, к началу 2026 г. в республике действовали 185,5 тыс. субъектов малого и среднего предпринимательства, а число самозанятых достигло 447 тыс. человек [1]. Сведения Единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства Федеральной налоговой службы России подтверждают масштаб предпринимательской базы и преобладание в ней микропредприятий [2].

Одновременно растет значимость цифровой торговли. Ассоциация компаний интернет-торговли оценила российский рынок электронной торговли в 2025 г. в 11,5 триллиона рублей [3], а в Татарстане его объем достиг 237 миллиардов рублей, увеличившись на 33,5% по сравнению с предыдущим годом [4]. Эти показатели указывают на то, что платформенные решения становятся частью повседневной модели сбыта, а не только инструментом эксперимента отдельных компаний.

Цель работы состоит в разработке предложений по повышению цифровой устойчивости малого бизнеса региона. Под цифровой устойчивостью понимается способность предприятия получать выгоды от цифровых платформ, не теряя контроля над экономикой продаж, данными о клиентах, критическими операционными процессами и стратегией развития.

Материалы и методы

Исследование выполнено в обзорно-аналитической логике. Использованы системный подход, позволяющий рассматривать цифровую платформу как совокупность технологических, рыночных и институциональных отношений, институциональный анализ правил взаимодействия продавца с оператором, а также сравнительный анализ возможностей и рисков платформенной модели. Эмпирическая часть основана на открытых данных региональных органов власти, Федеральной налоговой службы России, отраслевых источниках электронной торговли и нормативных актах.

Нормативный контекст определяет Федеральный закон от 31 июля 2025 г. № 289-ФЗ, закрепляющий основные понятия платформенной экономики и участников посреднических цифровых платформ [5]. Для интерпретации региональных результатов использованы международные исследования цифровизации малых предприятий, трансграничных потоков данных, конкуренции на цифровых рынках и управления данными [6-10].

В качестве аналитического результата предложена матрица цифровой устойчивости. Она выделяет четыре взаимосвязанных контура: экономический, технологический, информационный и институциональный. Такая рамка позволяет перейти от оценки числа продавцов и оборота к анализу качества участия предприятий в цифровой экономике.

Результаты и обсуждение

Сводные показатели предпринимательской и цифровой среды региона представлены в таблице 1. Они фиксируют высокий масштаб сектора малого бизнеса и заметную роль электронной торговли в региональной экономике.

Таблица 1

Показатели платформенной трансформации малого бизнеса Республики Татарстан

Показатель	Значение	Источник
Субъекты малого и среднего предпринимательства, январь 2026 г.	185,5 тыс.	[1]
Самозанятые, январь 2026 года	447 тыс.	[1]
Объем интернет-торговли в Татарстане, 2025 г.	237 млрд руб.	[4]
Онлайн-продавцы в Татарстане, первое полугодие 2025 г.	более 71 тыс.	[1]

Источник: составлено автором по данным источников [1, 4].

Практические направления повышения цифровой устойчивости

Первый контур цифровой устойчивости является экономическим. Предприятие должно сопоставлять валовую выручку с полной стоимостью платформенного канала: комиссией, логистикой, хранением, возвратами, скидками, рекламой и налоговыми платежами. Рост продаж без такого расчета может ухудшать денежный поток и снижать маржинальность. Поэтому в региональных программах поддержки целесообразны короткие практические курсы по юнит-экономике, ценообразованию, финансовому планированию и работе с возвратами.

Второй контур связан с технологической независимостью. Маркетплейс должен быть рекламной площадкой, но он не должен быть единственным каналом сбыта. С целью минимизации рисков предприниматель должен создавать и поддерживать работу собственной автономной инфраструктуры, а именно – развивать свой собственный рабочий веб-сайт, вести учет в CRM-системе, иметь альтернативные способы оплаты, а также иные каналы привлечения трафика и проверенный пул поставщиков. Такая альтернативная модель не вынуждает полностью уходить с маркетплейсов в случае изменения условий взаимодействия с платформой при, например, стремительном повышении комиссий, смене алгоритмов ранжирования или логистических сбоях у оператора.

Блок работы с информацией строится на устранении аналитического дисбаланса. Маркетплейсы аккумулируют огромные массивы сведений: от конверсии и цен до деталей поведения покупателей, выдавая селлеру лишь урезанную отчетность. Как подтверждается в зарубежной литературе, контроль над цифровым следом прямо определяет, кто получает основную прибыль в цепочке [7, 10]. Из-за этого малым фирмам критически важно собирать собственную обезличенную аналитику, отслеживать метрики повторных покупок и фиксировать процент клиентов, с которыми удается выстроить прямую коммуникацию в обход площадки.

Институциональный блок затрагивает вопросы правовой прозрачности. Продавцам необходимы понятные критерии выдачи товара в поиске, предсказуемые условия работы и действенные механизмы разрешения споров. Подобный вектор регулирования монополий цифрового посредничества уже активно применяется в мировой практике [8]. На уровне Та-

тарстана это требует регулярного взаимодействия органов власти, регионального бизнеса и руководства IT-платформ, а также системной фиксации случаев необоснованных блокировок, роста комиссионных ставок и логистических сбоев.

Задача региональных властей – поддерживать не просто абстрактный переход в «онлайн», а измеримую эффективность этой трансформации. В метрики оценки госпрограмм стоит включить конкретные параметры: процент продаж через маркетплейсы в общем объеме, реальную маржинальность с учетом всех сборов, долю возвращающихся покупателей, количество независимых точечных каналов сбыта, а также частоту коррекции условий со стороны IT-гигантов.

Выводы

Платформенная экономика расширяет возможности малого бизнеса Республики Татарстан, поскольку снижает барьеры входа, позволяет быстрее проверить спрос и получить доступ к инфраструктуре, которая раньше была доступна преимущественно крупным компаниям. Однако положительный эффект не является автоматическим: он зависит от навыков предпринимателя, финансовой структуры бизнеса, полноты работы с аналитикой и умения совмещать возможности сторонних сервисов с собственными площадками.

Предложенная модель цифровой устойчивости объединяет экономический, технологический, информационный и институциональный контуры. Ее использование в региональной политике позволит оценивать цифровизацию по более содержательным критериям, чем общий оборот и число зарегистрированных продавцов. Приоритетными мерами являются обучение управлению платформенной экономикой, развитие региональных брендов и самостоятельных цифровых каналов, мониторинг рисков и адресная поддержка предпринимателей в муниципалитетах. Такой подход соответствует направлению «Инновации, интегрированные в бизнес» и может быть применен в регионах с сопоставимой структурой малого предпринимательства.

Список литературы

1. Министерство экономики Республики Татарстан. В Татарстане растет количество субъектов предпринимательства. 21.01.2026. – URL: https://mert.tatarstan.ru/index.htm/news/2486292.htm (дата обращения: 22.08.2026).

2. Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства Федеральной налоговой службы России. Статистика по Республике Татарстан, данные на 10.07.2026. – URL: https://rmsp.nalog.ru/statistics.html?fo=5&level=0&ssrf=16 (дата обращения: 22.08.2026).

3. Ассоциация компаний интернет-торговли. 11.5 трлн рублей: АКИТ подвела итоги интернет-торговли за 2025 год. 19.02.2026. – URL: https://akit.ru/news/11-5-trln-rublej-akit-podvela-itogi-internet-torgovli-za-2025-god (дата обращения: 22.08.2026).

4. РБК Татарстан. В Татарстане интернет-торговля в 2025 году выросла на 33.5%. 19.02.2026. – URL: https://rt.rbc.ru/tatarstan/freenews/6996e8f09a79478db7181932 (дата обращения: 22.08.2026).

5. Федеральный закон от 31.07.2025 № 289-ФЗ «Об отдельных вопросах регулирования платформенной экономики в Российской Федерации» // Российская газета. 06.08.2025. – URL: https://rg.ru/documents/2025/08/06/ekonomika-dok.html (дата обращения: 22.08.2026).

6. OECD. The Digital Transformation of SMEs. OECD Studies on SMEs and Entrepreneurship. Paris: OECD Publishing, 2021. 275 p. DOI: 10.1787/bdb9256a-en.

7. UNCTAD. Digital Economy Report 2021: Cross-border Data Flows and Development: For Whom the Data Flow. Geneva: United Nations, 2021. – URL: https://unctad.org/publication/digital-economy-report-2021.

8. Regulation (EU) 2022/1925 of the European Parliament and of the Council of 14 September 2022 on Contestable and Fair Markets in the Digital Sector (Digital Markets Act). Official Journal of the European Union. 2022. – URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/1925/oj.

9. OECD. SME Digitalisation to “Build Back Better”: Digital for SMEs (D4SME) Policy Paper. OECD SME and Entrepreneurship Papers. № 31. Paris: OECD Publishing, 2021. DOI: 10.1787/50193089-en.

10. World Bank. World Development Report 2021: Data for Better Lives. Washington, DC: World Bank, 2021. – URL: https://wdr2021.worldbank.org/the-report/.

УДК 004.94:658.5

DIGITAL TWINS AS A TOOL FOR IMPROVING INDUSTRIAL PRODUCTION EFFICIENCY

Rachislova S.A., student, Kazan State Power Engineering University;
ORCID: 0009-0000-5230-9067;
Nguyen Vu Linh, Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam;
Rukovishnikov V.A., Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0002-2785-9119

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Расчислова С.А., студент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0000-5230-9067;
Нгуен Ву Линь, Ханойский промышленный университет, г. Ханой, Вьетнам;
Руковишников В.А., ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0002-2785-9119

Abstract

The digital transformation of industrial production creates demand for technologies that improve equipment performance, reduce resource consumption, and support operational decision-making through reliable production data. This article examines digital twins as a tool for increasing industrial production efficiency and considers their potential application to technological equipment used for material classification and separation. The research is based on a comparative analysis of scientific publications and international standards published between 2020 and 2025, with particular attention to manufacturing architecture, predictive maintenance, operational optimization, and the technical and economic assessment of industrial equipment. The study establishes that a digital twin provides practical value when it combines a physical production asset, a regularly updated digital representation, reliable operational information, and procedures that translate analytical findings into production decisions. The analysis identifies several principal areas of application, including equipment condition monitoring, reduction of unplanned downtime, production planning, quality management, energy efficiency, and evaluation of alternative operating modes. Special consideration is given to a multivortex classifier-separator used for the fractionation of fine silica-gel material, for which existing research has assessed technical characteristics, separation efficiency, airflow, hydraulic resistance, electricity consumption, and economic performance. The article proposes the conceptual application of digital twin technology to such equipment while distinguishing this proposal from the results reported in the original engineering study. A phased implementation approach is developed that includes identifying production problems, collecting baseline data, selecting measurable indicators, integrating equipment with information systems, testing a digital model, and validating operational results. The findings indicate that digital twins can improve industrial decision-making when

implementation is adapted to specific production conditions and supported by reliable information, employee participation, cybersecurity measures, and economic justification. The proposed approach can serve as a basis for future industrial experiments and practical digitalization projects.

Keywords: digital twin, industrial production, production efficiency, multivortex classifier-separator, predictive maintenance, separation processes, energy efficiency, digital manufacturing, industrial equipment, operational optimization

Аннотация

Цифровая трансформация промышленного производства формирует потребность в технологиях, обеспечивающих повышение результативности оборудования, сокращение потребления ресурсов и поддержку управленческих решений на основании достоверных производственных данных. В статье рассматриваются цифровые двойники как инструмент повышения эффективности промышленного производства и анализируются возможности их применения к технологическому оборудованию, предназначенному для классификации и разделения материалов. Исследование основано на сравнительном анализе научных публикаций и международных стандартов, опубликованных в период с 2020 по 2025 год, с особым вниманием к архитектуре производственных систем, предиктивному обслуживанию, оптимизации технологических операций и технико-экономической оценке промышленного оборудования. Установлено, что цифровой двойник приобретает практическую ценность при объединении физического производственного объекта, регулярно обновляемого цифрового представления, достоверной эксплуатационной информации и процедур использования аналитических результатов в процессе принятия решений. Выделены основные направления применения, включающие мониторинг технического состояния оборудования, сокращение незапланированных простоев, производственное планирование, управление качеством, повышение энергетической эффективности и оценку альтернативных режимов эксплуатации. Особое внимание уделено мультивихревому классификатору-сепаратору, применяемому для фракционирования мелкодисперсного материала на основе силикагеля, для которого ранее рассматривались технические характеристики, эффективность разделения, расход воздуха, гидравлическое сопротивление, энергопотребление и экономические показатели. Предложена концепция применения цифрового двойника к данному оборудованию при четком разграничении предложенного подхода и результатов исходного инженерно-экономического исследования. Разработана поэтапная последовательность внедрения, включающая определение производственной проблемы, сбор исходной информации, выбор измеримых показателей, интеграцию оборудования с информационными системами, испытание цифровой модели и проверку фактических результатов. Показано, что применение цифровых двойников способствует совершенствованию промышленного управления при адаптации к конкретным производственным условиям и наличии достоверной информации, участия персонала, мер кибербезопасности и экономического обоснования. Предложенный подход может использоваться при подготовке последующих промышленных экспериментов и практических проектов цифровизации оборудования.

Ключевые слова: цифровой двойник, промышленное производство, производственная эффективность, мультивихревой классификатор-сепаратор, предиктивное обслуживание, процессы сепарации, энергоэффективность, цифровое производство, промышленное оборудование, оптимизация операций

Introduction

Industrial enterprises face growing pressure to increase productivity, improve product quality, reduce production costs, and adapt to changing operating conditions. These challenges are intensified by rising energy expenditures, equipment deterioration, complex technological processes, and the need to use material resources more efficiently.

Traditional production management often relies on separate information systems that record equipment operation, maintenance activities, product quality, and resource consumption independently. When these data are not connected, production managers may identify deviations only after equipment failures, quality problems, or financial losses have already occurred.

Digital twins offer an approach that combines physical industrial systems with digital representations updated using operating data. Such models can support the observation of equipment condition, comparison of alternative production scenarios, identification of operational deviations, and preparation of management decisions.

Current research considers digital twins interconnected systems that include a physical object, its virtual representation, data exchange mechanisms, and information about the operational environment [1]. Their significance for industrial production lies in the ability to connect engineering knowledge with current production information and use this connection to improve practical decision-making.

At the same time, the presence of a computer model does not automatically lead to greater production efficiency. A digital representation becomes valuable only when it reflects meaningful characteristics of the physical process and supports decisions that influence equipment operation, maintenance, product quality, or resource use.

The purpose of this article is to examine the possibilities of applying digital twins to improve industrial production efficiency and to identify a practical direction for their potential use in material classification and separation processes.

The research objectives include defining the operational characteristics of digital twins, identifying their main manufacturing applications, examining their relevance to industrial separation equipment, and determining the organizational and economic conditions required for implementation.

Research methodology

The study uses a qualitative research approach based on the comparative analysis of seven sources published between 2020 and 2025. The source base includes peer-reviewed international publications, an international manufacturing standard, and a Russian study addressing the technical and economic characteristics of a multivortex classifier-separator.

The sources were selected according to their relevance to industrial digitalization, manufacturing system architecture, predictive maintenance, operational efficiency, or the economic assessment of technological equipment. Additional selection criteria included verifiable publication data, identifiable publication venues, and the availability of official institutional or publisher information.

The analysis was performed in several stages. First, contemporary definitions of digital twins were examined to identify their essential operational characteristics. Second, the main industrial applications were grouped according to their expected contribution to equipment availability, production stability, product quality, and resource efficiency.

The third stage examined a specific technological process involving the classification and separation of fine silica-gel material. This process was selected because the available engineering study discusses equipment characteristics and economic criteria relevant to future digital monitoring and operational modeling.

The final stage involved the development of a conceptual implementation approach connecting production objectives, available data, equipment characteristics, operational indicators, and organizational requirements.

The article does not present the results of an original industrial experiment. The proposed application of a digital twin to classification and separation equipment is therefore treated as a research hypothesis that requires practical testing rather than as an established production outcome.

The main part

A digital twin can be described as a digital representation of a physical object, technological process, or production system that is connected to operational information and used to support analysis or decision-making.

The physical component may include an individual machine, a production line, a material handling system, an energy installation, or a complete manufacturing facility. The digital component represents the properties and conditions that are relevant to the selected production task.

The interaction between these components is based on information collected from sensors, equipment controllers, maintenance records, production schedules, quality control systems, and other industrial data sources.

The international standard ISO 23247 establishes general principles for developing digital twin frameworks in manufacturing and identifies the need to organize interactions between observable production elements and digital services [2]. This provides a basis for the consistent representation of manufacturing resources and the integration of physical and digital environments.

A functional digital twin should not be confused with a static engineering drawing, a three-dimensional visualization, or a simulation model that is never updated. The distinguishing characteristic is the practical connection between the physical production process and its digital representation.

Depending on the application, this connection may support equipment monitoring, process analysis, performance forecasting, comparison of operating scenarios, or recommendations for changing production conditions.

The required degree of model detail depends on the problem being addressed. For some applications, a simplified representation based on current equipment status may be sufficient. Other applications may require detailed information about process parameters, material properties, maintenance history, or the interaction between several production units.

Research on industrial digital twin definitions shows that the necessary characteristics of such systems depend on their practical purpose and cannot be reduced to a universal technological configuration [3]. Therefore, implementation should begin with a clearly defined industrial problem rather than with the selection of a particular software platform.

Digital twins can influence industrial efficiency through several interconnected operational mechanisms.

The first direction is improved visibility of equipment condition. When production data are collected and organized systematically, operating personnel can identify abnormal changes in equipment behavior earlier than when relying on periodic manual inspections.

The second direction is the coordination of production processes. A digital representation of a manufacturing line can help identify bottlenecks, evaluate the consequences of equipment interruptions, and compare alternative production schedules.

The third direction concerns product quality. When process conditions are linked to inspection results, the enterprise can examine whether variations in equipment settings, material properties, or operating modes are associated with quality deviations.

The fourth direction is resource efficiency. By connecting production output with electricity consumption, material losses, and equipment utilization, a digital twin can support the selection of operating conditions that reduce unnecessary expenditure.

The fifth direction involves the preparation of investment decisions. Digital models can help compare operating scenarios and examine whether the expected benefits of equipment modernization are sufficient to justify implementation and maintenance costs.

Recent research on smart manufacturing identifies production monitoring, virtual process assessment, maintenance planning, and operational optimization as important applications of digital twins [4]. However, the significance of each application depends on the characteristics of the enterprise and the availability of reliable data.

A production facility experiencing frequent equipment failures may benefit most from condition monitoring and maintenance planning. An enterprise with high energy costs may prioritize operating modes and electricity consumption. A process characterized by unstable product quality may require closer integration between technological parameters and inspection results.

Consequently, digital twin implementation should be connected to measurable production problems rather than treated as an independent technological objective.

Industrial equipment failures can interrupt production, delay deliveries, increase repair costs, and create additional quality risks. Maintenance based exclusively on fixed schedules does not always reflect the actual technical condition of equipment, while reactive maintenance requires intervention after a failure has already occurred.

A digital twin can support maintenance planning by combining operational observations with maintenance records and information about equipment behavior. Depending on the type of installation, relevant data may include operating time, electrical load, temperature, vibration, pressure, or other parameters that can be measured reliably.

The digital representation can help identify changes that indicate abnormal operating conditions. When such changes are detected, maintenance specialists can inspect the equipment and determine whether corrective action is necessary.

Research published in 2024 identifies the combination of predictive maintenance and digital twin technologies as a promising direction for improving equipment monitoring while also noting challenges related to data integration, technical complexity, and organizational readiness [5].

The principal results that should be monitored include the frequency of unplanned stoppages, the duration of repairs, equipment availability, maintenance expenditure, and the stability of production schedules.

A reduction in downtime should not automatically be attributed to the digital twin. Reliable assessment requires comparison with an appropriate baseline and consideration of other factors, including changes in workload, maintenance staffing, production volume, and equipment modernization.

The practical value of predictive maintenance also depends on the ability of employees to interpret analytical recommendations. If warnings are ignored or if maintenance teams lack the resources to respond, the presence of a digital model will not produce a meaningful operational effect.

Manufacturing efficiency depends on the coordination of equipment, personnel, raw materials, technological operations, and customer orders. A disruption at one stage may affect the operation of the entire production system.

A digital twin can support production planning by representing the sequence of operations and the relationships between production resources. The model can be used to compare different schedules, examine the consequences of equipment stoppages, and identify processes that limit overall throughput.

Production planning becomes more reliable when the digital representation is updated using information about current orders, equipment availability, inventory levels, and maintenance activities. This allows the enterprise to examine alternative decisions before they are introduced into the physical production environment.

Quality management is another important area. A digital twin can connect production conditions with inspection outcomes and help identify circumstances associated with defective products. Relevant factors may include processing time, equipment settings, material characteristics, or the stability of the technological process.

The same information can support an investigation of the causes of quality problems. Instead of examining isolated production records, specialists can analyze the relationship between equipment behavior, operational conditions, and the characteristics of the final product.

Resource management involves electricity consumption, material utilization, equipment operating time, and production losses. A digital twin can help identify equipment that operates inefficiently, processes that require repeated handling, and production modes associated with excessive energy use.

A contemporary conceptual framework for manufacturing digital twins emphasizes the importance of connecting technological capabilities with specific industrial objectives [6]. This

supports an approach in which production efficiency, product quality, resource consumption, and economic performance are evaluated together.

Classification and separation processes are important in industries where the properties of fine materials influence product quality, process stability, and the cost of subsequent production operations.

A relevant Russian study examines the technical and economic justification for using a multivortex classifier-separator to fractionate fine silica-gel material [7]. The assessment includes separation performance, airflow, hydraulic resistance, electricity consumption, and comparison with alternative equipment.

The study also considers how separation efficiency affects the need for repeated processing and the associated consumption of energy. Its results indicate that economic evaluation should account for both the technical characteristics of the equipment and the broader production process in which the installation operates.

For digital industrial development, this example is significant because the technological process includes several interconnected variables that can potentially be monitored and compared over time.

A proposed digital twin of a multivortex classifier-separator could integrate information about equipment operating time, the amount of processed material, electricity consumption, airflow conditions, available separation characteristics, and maintenance activities.

If technically justified and supported by appropriate measurement devices, additional information could include changes in hydraulic resistance, equipment load, or the amount of material requiring repeated processing.

The digital representation could support the comparison of different operating conditions and help determine whether deviations in the process are associated with increased energy consumption or reduced separation performance.

It could also assist in identifying periods when the equipment operates below its intended capacity or when changes in material properties create additional technological difficulties.

Another potential application involves evaluating the relationship between the classifier-separator and adjacent equipment, including material feeding systems, grinding operations, and downstream collection units. Since repeated processing can influence overall energy use and production costs, a broader process model may provide more useful information than the isolated observation of the separator itself.

At the same time, it is essential to distinguish between the findings of the cited technical and economic study and the proposal presented in this article. The cited publication evaluates industrial separation equipment but does not describe the creation or implementation of a digital twin.

Therefore, the proposed use of digital twin technology should be understood as a possible extension of equipment assessment, not as a result demonstrated by the cited source.

Any claim that a digital twin reduces electricity consumption, improves separation efficiency, or decreases operating costs would require a separate industrial experiment, documented baseline data, and verification under actual production conditions.

The economic assessment of a digital twin should consider both the expected production benefits and the full cost of implementation.

Potential benefits may include fewer unplanned equipment stoppages, improved maintenance planning, more stable production schedules, lower material losses, reduced energy consumption, and better product quality.

For equipment involved in material classification and separation, additional indicators may include the amount of processed material, the consistency of separation results, the need for repeated processing, and electricity expenditure associated with the final product.

Implementation costs include measurement equipment, software, communication infrastructure, integration with existing information systems, employee training, cybersecurity protection, model development, technical support, and periodic model updates.

A reliable evaluation requires a documented baseline. Before implementation, the enterprise should establish how the equipment performs under existing conditions and identify which indicators are expected to change.

After deployment, the same indicators should be monitored over a comparable period. Any assessment should consider changes in production demand, material characteristics, electricity prices, operating schedules, and maintenance practices.

A project may appear technologically successful while remaining economically unjustified if the cost of maintaining the digital system exceeds the value of the operational improvements.

For this reason, an industrial digital twin should be evaluated as part of an overall production management system rather than as an isolated software product.

Successful implementation requires cooperation between production managers, maintenance specialists, information technology personnel, quality engineers, and equipment operators.

The first organizational condition is the availability of reliable information. Missing records, inaccurate measurements, inconsistent data formats, and equipment without appropriate sensors can limit the usefulness of the digital representation.

The second condition is interoperability. Industrial enterprises often use equipment produced by different manufacturers and information systems introduced at different stages of technological development. Integration can therefore require additional technical and financial resources.

The third condition is model maintenance. Physical equipment changes because of wear, repair, modernization, and variations in operating conditions. A digital model must be updated accordingly to remain useful.

The fourth condition is cybersecurity. Connections between production equipment, corporate networks, and analytical platforms can create additional vulnerabilities. Data protection and access control should be incorporated into the implementation process from the beginning.

The fifth condition is employee participation. Operators and engineers should understand how the model is constructed, which data it uses, and how its recommendations should be interpreted.

The sixth condition is the appropriate scale of implementation. A pilot project involving a single production unit or technological process can help determine whether the selected approach provides useful information before the enterprise invests in broader deployment.

Finally, the expected level of model detail should correspond to the production problem. Excessive complexity may increase development and maintenance costs without providing additional practical value.

Conclusions

Digital twins can serve as an effective instrument for improving industrial production efficiency when they connect physical equipment, relevant operational information, appropriate digital models, and practical decision-making procedures.

Their main areas of application include equipment condition monitoring, predictive maintenance, production planning, quality management, and control of energy and material consumption.

The practical value of a digital twin depends on the quality of production data, the accuracy required for the selected application, the integration of information systems, and the ability of employees to act on analytical results.

The analysis of a multivortex classifier-separator demonstrates the relevance of applying digital monitoring and modeling concepts to industrial equipment whose performance depends on separation efficiency, airflow, hydraulic resistance, energy consumption, and repeated material processing.

However, the available source establishes the technical and economic significance of the equipment rather than the effectiveness of a digital twin. The proposed digital representation should therefore be treated as a direction for future research and industrial testing.

A justified implementation strategy should begin with a specific production problem, establish baseline indicators, assess data availability, develop a pilot model, verify its predictions, and evaluate the economic consequences of its operation.

Digital twins create industrial value when their deployment is connected to measurable production objectives and supported by reliable engineering information, organizational readiness, and consistent performance assessment.

References

1. Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B. Characterising the Digital Twin: A Systematic Literature Review // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2020. Vol. 29. P. 36–52. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.

2. ISO 23247-1:2021. Automation Systems and Integration – Digital Twin Framework for Manufacturing – Part 1: Overview and General Principles. Geneva: International Organization for Standardization, 2021. URL: Официальная страница стандарта ISO 23247-1:2021.

3. Schweiger L., Barth L. Properties and Characteristics of Digital Twins: Review of Industrial Definitions // SN Computer Science. 2023. Vol. 4. Art. 436. DOI: 10.1007/s42979-023-01937-4.

4. Soori M., Arezoo B., Dastres R. Digital Twin for Smart Manufacturing, A Review // Sustainable Manufacturing and Service Economics. 2023. Vol. 2. Art. 100017. DOI: 10.1016/j.smse.2023.100017.

5. Abd Wahab N. H., Hasikin K., Lai K. W., Xia K., Bei L., Huang K., Wu X. Systematic Review of Predictive Maintenance and Digital Twin Technologies Challenges, Opportunities, and Best Practices // PeerJ Computer Science. 2024. Vol. 10. Art. e1943. DOI: 10.7717/peerj-cs.1943.

6. Villegas L. F., Macchi M., Polenghi A. Digital Twins in Manufacturing: A Unified Conceptual Framework // Annual Reviews in Control. 2025. Vol. 60. Art. 101031. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2025.101031.

7. Зинуров, В. Э. Технико-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора / В. Э. Зинуров, А. Р. Галимова, И. Г. Ахметова, И. Н. Мадышев // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2022. – № 7 (213). – С. 33–44. DOI: 10.46554/1993-0453-2022-7-213-33-44. EDN: XLSJFC.

УДК 338.45:004

DIGITAL TRANSFORMATION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES: EFFICIENCY FACTORS AND BARRIERS TO IMPLEMENTATION

Rachislova S.A., student, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0000-5230-9067;
Nguyen Vu Linh, Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam;
Prets M.A., graduate student, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-4434-3906

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БАРЬЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ

Расчислова С.А., студент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0000-5230-9067;
Нгуен Ву Линь, Ханойский промышленный университет, г. Ханой, Вьетнам;
Претс М.А., аспирант ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-4434-3906

Abstract

Digital transformation has become a strategic priority for industrial enterprises seeking to improve productivity, strengthen operational resilience, and respond to increasingly complex

market conditions. However, the introduction of advanced technologies does not automatically produce sustainable economic benefits because implementation outcomes depend on organizational readiness, data quality, workforce capabilities, and coordination across business functions. This article examines the principal factors that determine the effectiveness of industrial digital transformation and identifies the barriers that limit the adoption and scaling of technological solutions. The research applies qualitative comparative analysis to academic publications, institutional reports, technical standards, and documented industrial cases published between 2021 and 2026. Particular attention is given to industrial data integration, intelligent automation, digital twins, predictive maintenance, cybersecurity, employee training, and performance measurement. The analysis demonstrates that successful transformation requires the alignment of digital initiatives with enterprise strategy, the integration of information and operational systems, and the systematic development of employee competencies. The most significant barriers include fragmented technological infrastructure, insufficient investment resources, resistance to organizational change, weak data governance, cybersecurity risks, and the inability to scale pilot projects. Evidence from advanced manufacturing facilities indicates that coordinated digital initiatives can improve productivity, reduce defects, shorten production cycles, and decrease resource consumption. Nevertheless, these results cannot be automatically generalized because leading industrial sites represent a selective group with comparatively strong management and technological capabilities. The article proposes a staged implementation approach that combines digital maturity assessment, targeted pilot projects, standardized data architecture, workforce development, cybersecurity governance, and continuous performance monitoring. The findings provide a practical foundation for industrial enterprises developing transformation strategies under conditions of technological uncertainty and limited organizational resources.

Keywords: digital transformation, industrial enterprises, manufacturing efficiency, Industry 4.0, digital maturity, industrial data, intelligent automation, implementation barriers, cybersecurity, workforce competencies

Аннотация

Цифровая трансформация стала стратегическим приоритетом промышленных предприятий, стремящихся повысить производительность, укрепить операционную устойчивость и адаптироваться к усложняющимся рыночным условиям. Однако внедрение передовых технологий не обеспечивает устойчивого экономического эффекта автоматически, поскольку результаты зависят от организационной готовности, качества данных, компетенций персонала и согласованности действий подразделений. В статье рассматриваются основные факторы, определяющие эффективность цифровой трансформации промышленных предприятий, и выявляются барьеры, ограничивающие внедрение и масштабирование технологических решений. Исследование основано на качественном сравнительном анализе научных публикаций, аналитических докладов, технических рекомендаций и документально подтверждённых производственных кейсов, опубликованных в период с 2021 по 2026 г. Особое внимание уделяется интеграции производственных данных, интеллектуальной автоматизации, цифровым двойникам, прогнозному техническому обслуживанию, кибербезопасности, подготовке сотрудников и оценке результативности. Установлено, что успешная трансформация требует согласования цифровых инициатив со стратегией предприятия, интеграции информационных и производственных систем, а также последовательного развития профессиональных компетенций работников. К наиболее существенным препятствиям относятся фрагментированная технологическая инфраструктура, ограниченные инвестиционные ресурсы, сопротивление организационным изменениям, недостаточное качество управления данными, киберриски и невозможность масштабирования пилотных проектов. Материалы передовых производственных площадок свидетельствуют о возможности повышения производительности, сокращения количества дефектов, уменьшения продолжительности производственных циклов

и снижения ресурсопотребления. При этом указанные результаты не могут автоматически распространяться на все предприятия, поскольку наиболее успешные производственные площадки обладают сравнительно высоким уровнем управленческой и технологической зрелости. Предложен поэтапный подход к внедрению, объединяющий диагностику цифровой зрелости, запуск целевых пилотных проектов, стандартизацию архитектуры данных, обучение персонала, управление кибербезопасностью и постоянный мониторинг показателей. Полученные выводы могут применяться промышленными предприятиями при разработке программ цифрового развития в условиях технологической неопределённости, ограниченности ресурсов и необходимости сохранения непрерывности производственной деятельности.

Ключевые слова: цифровая трансформация, промышленные предприятия, эффективность производства, Индустрия 4.0, цифровая зрелость, производственные данные, интеллектуальная автоматизация, барьеры внедрения, кибербезопасность, компетенции персонала

Introduction

Industrial enterprises operate in an environment characterized by technological change, supply chain disruptions, rising production costs, and increasingly demanding quality requirements. Under these conditions, digital transformation has developed from an auxiliary modernization activity into a strategic mechanism for improving competitiveness and long-term organizational resilience.

Digital transformation differs from the simple acquisition of software or automation equipment. It involves changes in production processes, information flows, decision-making practices, workforce responsibilities, and relationships with external partners. Existing research identifies transformation as a multidimensional process that connects technological innovation with organizational redesign and strategic management [1].

The relevance of this subject is particularly evident among small and medium-sized industrial enterprises. Such organizations frequently encounter difficulties adopting advanced digital solutions because their financial resources, technical infrastructure, and internal expertise are limited. International evidence indicates that smaller businesses generally adopt basic digital tools before implementing complex systems for industrial analytics, resource planning, and process integration [2].

At the same time, contemporary industrial development increasingly emphasizes employee welfare, environmental sustainability, and operational resilience. Digital technologies should therefore be assessed not only through immediate productivity gains but also through their influence on workforce participation, organizational adaptability, and responsible resource use [3].

The objective of this article is to identify the principal factors that determine the efficiency of digital transformation in industrial enterprises and to examine the barriers that prevent successful implementation.

The central research argument is that digital transformation produces sustainable results when technological initiatives are integrated with organizational capabilities, employee competencies, cybersecurity practices, and measurable operational objectives.

Research methodology

The research is based on a qualitative analysis of academic publications, institutional reports, technical guidance, and documented industrial cases published between 2021 and 2026. The selected materials address digital transformation, industrial integration, organizational readiness, digital twins, cybersecurity, and manufacturing performance.

The methodological approach combines comparative analysis, thematic classification, and synthesis of secondary evidence. First, relevant publications were examined to identify recurring technological, managerial, financial, and human factors associated with digital transformation. Second, the identified factors were compared with documented implementation barriers. Third, publicly available industrial cases were used to illustrate possible operational outcomes.

The analysis does not rely on an original enterprise survey or proprietary production data. Consequently, the findings should be interpreted as an evidence-based conceptual assessment rather

than a statistical estimate of the average impact of digital transformation across all industrial organizations.

Particular attention was paid to the distinction between isolated digitalization and integrated transformation. A separate software installation or automated workstation may improve a specific operation, but enterprise-wide transformation requires consistent data exchange, coordinated management, and changes in organizational routines.

The main part

The effectiveness of digital transformation depends on the ability of an industrial enterprise to integrate data generated at different stages of the production process. These stages include product design, procurement, manufacturing, quality control, equipment maintenance, warehousing, and distribution.

In many enterprises, information remains distributed across independent systems that use incompatible formats and separate operating procedures. As a result, production managers cannot obtain a complete and timely understanding of equipment conditions, inventory availability, production bottlenecks, or quality deviations.

A connected digital infrastructure reduces these limitations by establishing continuous information flows across organizational boundaries. The concept of a digital thread describes the structured connection of product and process data throughout the industrial life cycle. Such integration improves traceability, supports coordination between design and manufacturing, and reduces the probability of errors associated with repeated manual data entry [4].

A practical example is the integration of enterprise resource planning systems, manufacturing execution systems, warehouse management applications, and equipment-monitoring platforms. When these systems exchange reliable information, production schedules can be adjusted in response to material shortages, equipment interruptions, or changes in customer demand.

Digital twins represent another significant technological component. A digital twin is a continuously updated digital representation of a physical asset, process, or production environment. It allows industrial enterprises to observe operational conditions, evaluate alternative production scenarios, and identify potential problems before they affect physical operations.

However, the value of a digital twin depends on reliable sensor information, standardized data exchange, and clearly defined operational objectives. Without these conditions, digital models may remain disconnected from actual production processes and produce limited practical benefits [5].

The technological foundation of transformation should therefore be understood as an integrated architecture rather than a collection of independent digital tools.

The first efficiency factor is the alignment of digital initiatives with the strategic priorities of the enterprise. Digital projects should address identifiable production problems, including excessive downtime, unstable quality, inefficient maintenance, high energy consumption, or insufficient supply chain visibility.

Projects introduced solely because a particular technology is considered innovative often fail to produce meaningful results. Conversely, initiatives connected to specific operational problems can be evaluated through clearly defined indicators and adjusted when expected outcomes are not achieved.

Managerial commitment is equally important. Industrial transformation requires coordination between production departments, financial management, engineering teams, information technology specialists, and operational personnel. Without executive support, individual departments may pursue incompatible priorities or resist changes that alter established responsibilities.

Data quality directly affects the reliability of digital decision-making. Industrial analytics cannot generate dependable recommendations if equipment records are incomplete, production databases contain inconsistent classifications, or operational information is updated irregularly.

Effective data governance requires consistent definitions, designated responsibility for data quality, standardized collection procedures, and controlled access to sensitive information.

System interoperability is also essential. Industrial enterprises often operate equipment purchased during different technological periods and supplied by multiple manufacturers. Integration mechanisms must therefore accommodate legacy infrastructure while gradually introducing standardized digital interfaces.

Employees determine whether new technologies become practical working instruments or remain underused management initiatives. Production operators possess knowledge about equipment behavior, process variability, and recurring operational problems that cannot always be captured in formal technical documentation.

Training should therefore include both technical instruction and an explanation of how digital systems affect professional responsibilities. Employees need opportunities to understand data interpretation, identify system limitations, and provide feedback during implementation.

Workforce participation reduces resistance to organizational change and improves the quality of technological adaptation. When employees are involved in selecting and testing digital solutions, implementation is more likely to reflect actual production conditions.

Digital transformation cannot be reduced to transferring inefficient procedures into electronic systems. If production planning, maintenance coordination, or quality reporting are poorly organized, automation may accelerate existing inefficiencies rather than eliminate them.

Process redesign should precede or accompany technological implementation. This includes identifying duplicated activities, reducing unnecessary approvals, clarifying operational responsibilities, and establishing consistent procedures for responding to production deviations.

Continuous improvement also requires regular evaluation of whether digital solutions remain appropriate as production volumes, market conditions, and technological capabilities change.

Industrial efficiency increasingly includes the ability to reduce material losses, control energy consumption, and maintain production continuity during external disruptions.

Digital monitoring can identify equipment operating outside efficient parameters, detect excessive energy use, and reveal production stages associated with disproportionate material waste.

Documented cases from advanced manufacturing facilities demonstrate substantial operational improvements. Reported outcomes include an average increase in labor productivity of approximately 40 percent and a reduction in production lead time of approximately 48 percent among a recent group of leading industrial sites. Additional cases indicate reductions in product defects, material waste, and energy consumption [6].

These figures should be interpreted carefully. They describe selected high-performing facilities and do not represent guaranteed outcomes for a typical industrial enterprise. Actual results depend on initial production conditions, investment capacity, managerial competence, and implementation quality.

Digital transformation requires investment in equipment modernization, software, industrial connectivity, data management, cybersecurity, and employee training. These expenditures may be particularly challenging for enterprises with limited financial reserves or unstable revenue.

Uncertainty regarding economic returns often discourages long-term investment. Some benefits, such as improved organizational resilience or enhanced decision quality, are difficult to evaluate immediately. Other improvements emerge only after several production functions have been integrated.

Research on manufacturing organizations identifies financial constraints, technical integration difficulties, organizational transformation challenges, and data security concerns as major barriers to the adoption of advanced industrial technologies [7].

A practical response is to prioritize projects that address clearly measurable production problems and allow gradual expansion. However, a focus on short-term financial results should not prevent investment in shared infrastructure necessary for broader transformation.

Industrial enterprises frequently rely on machinery and software that were introduced before modern connectivity standards became widespread. Older equipment may lack sensors, digital interfaces, or mechanisms for secure data exchange.

Replacing all existing systems simultaneously is usually economically impractical. Therefore, transformation programs must combine modernization with selective adaptation of legacy infrastructure.

Fragmented systems create additional difficulties when procurement, production, maintenance, and quality departments maintain independent databases. In such environments, significant time is spent reconciling inconsistent information rather than improving operational performance.

Employees may perceive digital transformation as a threat to professional stability, established responsibilities, or employment security. Such concerns are particularly likely when management introduces new systems without explaining their objectives or involving operational personnel.

Skills shortages represent a related barrier. Industrial enterprises require specialists capable of combining production knowledge with data analysis, software integration, and cybersecurity awareness. These interdisciplinary competencies are not always available within existing organizational structures.

The problem cannot be resolved solely through external recruitment. Sustainable transformation requires ongoing employee development, practical training, and collaboration between technical and operational teams.

The integration of production equipment with corporate networks increases the potential consequences of cybersecurity incidents. Unauthorized access, compromised production data, or interrupted digital services can affect not only information confidentiality but also equipment safety, product quality, and operational continuity.

Cybersecurity must therefore be incorporated into transformation planning from the beginning. Essential measures include asset identification, access management, network segmentation, incident detection, response planning, and recovery procedures.

Contemporary cybersecurity guidance emphasizes that risk management should be integrated into organizational governance and adapted to enterprise size, operational priorities, and technological maturity [8].

Security controls should not be treated as an isolated technical expense. In an industrial environment, they protect the reliability of production decisions and the continuity of physical operations.

Many enterprises successfully test a digital solution within a single workshop but encounter difficulties when attempting to extend it across multiple production units.

A pilot project may depend on exceptionally motivated personnel, temporary external support, or equipment configurations that cannot be replicated elsewhere. If scalability is not considered during initial planning, the enterprise may accumulate isolated technological experiments without achieving integrated transformation.

Scaling requires standardized data architecture, reusable implementation procedures, clearly assigned responsibilities, and a funding model that extends beyond the experimental phase.

A practical transformation strategy begins with an assessment of digital maturity. Such an assessment examines the condition of technological infrastructure, the quality of industrial data, workforce competencies, cybersecurity readiness, managerial coordination, and existing performance indicators.

Recent reviews of digital maturity instruments show that assessment frameworks differ substantially in scope and complexity. Therefore, industrial enterprises should select evaluation criteria that correspond to their operational characteristics rather than applying standardized models without adaptation [9].

The relationship between efficiency factors, implementation barriers, and practical management responses is summarized in Table 1.

Table 1

Efficiency factors, implementation barriers and management responses

Efficiency factor	Typical implementation barrier	Recommended management response
Strategic alignment	Unclear project objectives and fragmented responsibilities	Connect initiatives to measurable production priorities
Integrated industrial data	Incompatible systems and inconsistent information	Introduce common data standards and phased system integration
Workforce competencies	Skills shortages and resistance to change	Provide practical training and involve operational personnel
Reliable infrastructure	Legacy equipment and limited investment capacity	Modernize critical assets gradually and prioritize scalable solutions
Cybersecurity governance	Unprotected interfaces and insufficient risk awareness	Implement access control, monitoring, incident response and recovery planning
Performance measurement	Isolated pilots and uncertain economic returns	Establish baseline indicators and monitor operational outcomes continuously
Sustainability and resilience	Excessive resource consumption and supply chain instability	Apply digital monitoring to energy, materials, inventory, and production continuity

The second implementation stage involves selecting a limited number of priority projects. Suitable initial applications include predictive maintenance, equipment condition monitoring, digital quality control, inventory visibility, and energy management.

Predictive maintenance is particularly relevant when unplanned equipment interruptions generate substantial financial losses. By observing equipment conditions and identifying abnormal operating patterns, enterprises can schedule maintenance before a breakdown disrupts production.

The third stage focuses on integration and standardization. Information generated by individual projects should become accessible to relevant departments through consistent data structures and controlled digital interfaces.

The fourth stage involves workforce development and organizational adaptation. Training programs should correspond to specific professional roles, while implementation teams should include production specialists, engineers, information technology personnel, and management representatives.

The fifth stage consists of enterprise-wide scaling and continuous evaluation. Digital initiatives should be assessed through changes in equipment availability, defect frequency, production lead time, inventory turnover, employee participation, resource consumption, and cybersecurity readiness.

Recent industrial evidence illustrates the potential results of coordinated scaling. A manufacturing site that introduced more than 50 digital and artificial intelligence applications reported a 43 percent increase in units produced per person-hour, a 35 percent reduction in defects, and a 67 percent reduction in the time required for employees to achieve operational competency. Another documented case reported a 40 percent improvement in inventory turnover and a 23 percent reduction in inventory costs [10].

These cases illustrate possible performance outcomes rather than universal benchmarks. Their relevance lies in demonstrating that technological applications are most effective when integrated with workforce development, operational redesign, and enterprise-wide coordination.

Discussion

The analysis indicates that the principal difference between successful and unsuccessful transformation is not the number of technologies implemented. The decisive factor is the capacity of the enterprise to combine technological capabilities with organizational readiness and operational objectives.

Financial investment remains necessary, but expenditure alone does not ensure improved performance. Enterprises may purchase advanced equipment without establishing reliable data governance or employee training. In such situations, technologically sophisticated systems can coexist with inefficient decision-making and limited practical adoption.

Similarly, digital maturity should not be understood exclusively as the availability of modern software. An enterprise with relatively modest technological infrastructure may achieve meaningful improvements if it maintains high-quality operational data, effective cross-functional coordination, and clear implementation priorities.

The analysis also demonstrates that organizational barriers and technological barriers reinforce one another. Fragmented infrastructure complicates data exchange; poor data quality reduces trust in digital systems; limited trust increases employee resistance; and resistance makes further integration more difficult.

Consequently, transformation programs should address interdependent constraints rather than attempting to solve each problem in isolation.

A further consideration concerns the interpretation of published industrial success stories. Leading manufacturing facilities typically possess stronger investment capacity, more developed managerial systems, and better access to technical expertise than average enterprises. Their results provide useful examples, but they should not be presented as automatically reproducible.

The principal limitation of this study is its reliance on secondary sources and publicly documented cases. Future research could examine enterprises of different sizes and industrial specializations through interviews, comparative case studies, or longitudinal analysis of operational performance.

Conclusions

Digital transformation provides industrial enterprises with opportunities to improve production efficiency, strengthen operational resilience, reduce resource losses, and develop more informed management practices. However, these outcomes depend on more than the introduction of individual digital technologies.

The most significant efficiency factors include strategic alignment, reliable industrial data, interoperable information systems, managerial commitment, workforce competencies, cybersecurity governance, and continuous performance evaluation.

The principal implementation barriers include financial constraints, legacy infrastructure, fragmented organizational responsibilities, resistance to change, insufficient digital skills, weak data governance, cybersecurity risks, and difficulties scaling pilot projects.

An effective implementation strategy should begin with digital maturity assessment and proceed through targeted pilot initiatives, infrastructure integration, workforce development, cybersecurity management, and systematic scaling.

The practical significance of the proposed approach lies in its ability to connect technological decisions with organizational conditions and measurable industrial outcomes. Digital transformation should therefore be understood as a continuous process of coordinated institutional, technological, and operational development.

References

1. Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo / S. Kraus, S. Durst, J. J. Ferreira [et al.] // International Journal of Information Management. – 2022. – Vol. 63. – Art. 102466. – DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2021.102466.

2. The Digital Transformation of SMEs / Organisation for Economic Co-operation and Development. – Paris : OECD Publishing, 2021. – 275 p. – DOI 10.1787/bdb9256a-en.

3. Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry / European Commission. – Brussels, 2021.

4. Digital Thread for Manufacturing / National Institute of Standards and Technology. – 2022.

5. Shao, G. Manufacturing Digital Twin Standards / G. Shao // 2024 International Conference on Engineering Digital Twins. – Linz, 2024.

6. Schönfuß, B. Smart, Sustainable Manufacturing: 3 Lessons from the Global Lighthouse Network / B. Schönfuß, K. Whiting // World Economic Forum. – 2025.

7. Critical Barriers to Industry 4.0 Adoption in Manufacturing Organizations and Their Mitigation Strategies / A. Sayem, P. K. Biswas, M. M. A. Khan [et al.] // Journal of Manufacturing and Materials Processing. – 2022. – Vol. 6, № 6. – Art. 136. – DOI 10.3390/jmmp6060136.

8. The NIST Cybersecurity Framework 2.0 / National Institute of Standards and Technology. – Gaithersburg, 2024. – DOI 10.6028/NIST.CSWP.29.

9. A Review of Industry 4.0 Assessment Instruments for Digital Transformation / M. Zamora Iribarren, C. L. Garay-Rondero, I. Lemus-Aguilar, R. E. Peimbert-García // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, № 5. – Art. 1693. – DOI 10.3390/app14051693.

10. Global Lighthouse Network: Transforming Advanced Manufacturing / World Economic Forum. – 2026.

УДК 699.86

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ СТЕНЫ КОТЕЛЬНЫХ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТНОГО СОСТОЯНИЯ

Расчислова С.А., студент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;
ORCID: 0009-0000-5230-9067;
Юдин В.Ю., аспирант ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-6892-9178

FORECASTING HEAT LOSSES THROUGH THE EXTERNAL WALLS OF BOILER ROOMS, TAKING INTO ACCOUNT THE DEVELOPMENT OF A DEFECTIVE STATE

Rachislova S.A., student, Kazan State Power Engineering University;
ORCID: 0009-0000-5230-9067;
Yudin V.Yu., Postgraduate Student, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-6892-9178

Аннотация

В статье рассмотрен подход к прогнозированию потерь теплоты через наружные стены зданий котельных с учетом развития дефектного состояния ограждающих конструкций в процессе эксплуатации. Актуальность исследования обусловлена тем, что энергетическая эффективность объектов теплоснабжения определяется не только состоянием котельного оборудования и тепловых сетей, но и эксплуатационным состоянием строительной оболочки здания, поскольку трещины, разрушение кладки, повреждение швов и локальные наруше-

ния сплошности наружных стен приводят к снижению теплозащитных свойств и увеличению дополнительных теплопотерь. Исследование выполнено на основе результатов технических обследований объектов теплоснабжения Магаданской области, при этом расчетная выборка включала 147 дефектных записей, относящихся к 28 зданиям котельных. Для формализации технического состояния наружных стен использована трехстадийная классификация дефектов: С – начальная стадия, В – развитая стадия, А – критическая стадия, что позволило связать характер и степень развития повреждений с их теплотехническим влиянием. При оценке дополнительных потерь теплоты раздельно учитывались площадные повреждения наружных стен и линейные дефекты, включая трещины, раскрытые швы и локальные нарушения ограждающего контура, а изменение дефектного состояния во времени описывалось марковской моделью последовательной деградации. По результатам расчета установлено, что на 30-летнем горизонте эксплуатации суммарные потери теплоты через наружные стены возрастают с 498,9 до 785,3 кВт, что соответствует увеличению на 57,4%. Анализ прогноза показал, что во второй половине расчетного периода основной вклад в рост теплопотерь формируют дефекты критической стадии А, тогда как стадия В является наиболее значимой для упреждающего ремонта, поскольку своевременное устранение развитых повреждений позволяет ограничить их переход в критическое состояние. Полученные результаты могут быть использованы для предварительного ранжирования котельных по уровню теплотехнического риска, обоснования сроков обследования наружных стен, планирования ремонтно-восстановительных мероприятий и повышения эксплуатационной надежности объектов теплоснабжения.

Ключевые слова: котельная, наружные стены, ограждающие конструкции, теплопотери, дефектное состояние, марковская модель, срок эксплуатации, техническое обследование.

Abstract

The article considers an approach to predicting heat losses through the exterior walls of boiler houses, taking into account the development of defective condition of enclosing structures during operation. The relevance of the study is due to the fact that the energy efficiency of heat supply facilities is determined not only by the condition of the boiler equipment and heating networks, but also by the operational condition of the building shell, since cracks, masonry destruction, seam damage and local irregularities in the continuity of the exterior walls lead to a decrease in thermal protective properties and an increase in additional heat loss. The study was carried out on the basis of the results of technical surveys of heat supply facilities in the Magadan region, while the calculated sample included 147 defective records related to 28 boiler houses. To formalize the technical condition of the exterior walls, a three–stage classification of defects was used: C is the initial stage, B is the advanced stage, and A is the critical stage, which made it possible to link the nature and degree of damage development with their thermal impact. When estimating additional heat losses, area damage to the exterior walls and linear defects, including cracks, open seams and local violations of the enclosing contour, were separately taken into account, and the change in the defective state over time was described by the Markov model of sequential degradation. According to the calculation results, it was found that over the 30-year operational horizon, the total heat loss through the exterior walls increases from 498.9 to 785.3 kW, which corresponds to an increase of 57.4%. The analysis of the forecast showed that in the second half of the estimated period, the main contribution to the increase in heat loss is made by defects of critical stage A, whereas stage B is the most significant for proactive repair, since timely elimination of developed damage allows limiting their transition to a critical state. The results obtained can be used for preliminary ranking of boiler houses according to the level of thermal engineering risk, substantiating the timing of the inspection of exterior walls, planning repair and restoration measures and improving the operational reliability of heat supply facilities.

Keywords: boiler room, exterior walls, enclosing structures, heat loss, defective condition, Markov model, service life, technical inspection

Введение

Повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения остается одной из актуальных задач коммунальной и промышленной теплоэнергетики. При анализе потерь теплоты основное внимание традиционно уделяется состоянию тепловых сетей, качеству изоляции трубопроводов, режимам работы источников теплоты, гидравлическим потерям и фактической потребности потребителей в тепловой энергии [1]. Однако здания котельных также являются важной частью системы теплоснабжения, поскольку именно в них размещаются источники тепловой энергии, вспомогательное оборудование, трубопроводная обвязка, контрольно-измерительные приборы и элементы автоматизации.

Эксплуатационное состояние здания котельной оказывает влияние на температурный режим помещений, условия работы оборудования и уровень собственных теплопотерь объекта. Наружные стены формируют основной ограждающий контур здания и обеспечивают требуемый уровень теплозащиты. При их повреждении ухудшается сопротивление теплопередаче, нарушается герметичность оболочки здания, возрастает риск инфильтрации наружного воздуха и локального переохлаждения внутренних поверхностей.

В исследованиях, посвященных энергетическому состоянию зданий, отмечается, что дефекты строительной оболочки могут существенно увеличивать тепловые потери, особенно при наличии трещин, поврежденных швов, зон увлажнения и локальных теплотехнических неоднородностей [2, 3]. Для выявления подобных нарушений широко применяются методы тепловизионного контроля, позволяющие фиксировать тепловые аномалии, участки повышенного теплового потока и зоны ухудшения теплозащитных свойств ограждающих конструкций [4, 5].

Для зданий котельных данная проблема имеет выраженную прикладную значимость. В отличие от жилых и общественных зданий, котельные являются объектами инженерной инфраструктуры, отказ или ухудшение условий эксплуатации которых может повлиять на надежность теплоснабжения потребителей. При этом наружные стены котельных в процессе эксплуатации подвергаются действию атмосферных осадков, циклов увлажнения и замораживания, ветровых нагрузок, температурных перепадов, неравномерных деформаций оснований и механических воздействий. В результате возникают трещины, разрушение штукатурного слоя, повреждение кладки, раскрытие швов, локальные сквозные дефекты и другие повреждения.

Особенно остро задача оценки и прогноза теплопотерь через ограждающие конструкции проявляется в северных и удаленных территориях. Для таких условий характерны продолжительный отопительный период, высокая климатическая нагрузка, значительные затраты на производство и транспортировку тепловой энергии, а также организационные сложности регулярного инструментального обследования всех объектов. Поэтому эксплуатационным организациям необходимы расчетные подходы, позволяющие не только фиксировать текущее состояние наружных стен, но и прогнозировать возможное изменение теплопотерь при дальнейшем развитии дефектов.

Разовая фиксация дефектов по результатам обследования не позволяет в полной мере оценить долгосрочные последствия их развития. Один и тот же тип повреждения может иметь различное влияние на теплотехническое состояние здания в зависимости от стадии развития, площади, протяженности и степени нарушения сплошности ограждающего контура. Поэтому целесообразно рассматривать дефекты не только как строительные повреждения, но и как факторы изменения энергетического состояния здания котельной.

Для описания процессов деградации строительных конструкций используются эмпирические зависимости, экспертно-индексные методы, статистические модели, алгоритмы машинного обучения и вероятностные модели состояний [6]. Если техническое состояние конструкции представлено последовательной сменой стадий, обоснованным является применение марковских моделей. Современные исследования показывают, что такие модели позволяют описывать переходы зданий и конструктивных элементов между состояниями, оцени-

вать срок службы и использовать результаты для планирования обследований и технического обслуживания [7, 8].

Целью работы является прогнозирование изменения потерь теплоты через наружные стены котельных в зависимости от срока эксплуатации на основе стадийной классификации дефектов и марковского описания переходов между состояниями.

Методика

Исследование выполнено на основе результатов технических обследований зданий котельных, расположенных в населенных пунктах Магаданской области. В расчетную выборку включены сведения о дефектах наружных стен, их виде, стадии развития, площади поврежденных участков, протяженности линейных дефектов и сроке эксплуатации зданий. Всего анализировалось 147 дефектных записей, относящихся к 28 зданиям котельных.

Исходные материалы обследований содержали как числовые параметры, так и текстовые описания повреждений. На первом этапе выполнялась систематизация исходной информации и ее преобразование в структурированный цифровой массив. Каждой записи соответствовал отдельный дефект, для которого указывались объект, срок эксплуатации здания, вид повреждения, стадия развития, площадь или протяженность, а также предполагаемый механизм влияния на теплотехническое состояние наружной стены.

Все этапы подготовки, обработки и анализа данных выполнялись в программной среде Python. Расчетный алгоритм обеспечивал загрузку исходного массива, проверку корректности числовых значений, обработку пропусков, унификацию текстовых наименований повреждений, присвоение дефектам укрупненных категорий и формирование расчетных групп. Использование Python позволило исключить ручное повторение однотипных операций и обеспечить единообразную обработку всех дефектных записей.

Дефекты, представленные в обследовательских материалах, были приведены к единой классификации по виду повреждения и стадии развития. В расчетной части учитывались преимущественно повреждения, способные непосредственно влиять на потери теплоты через наружные стены: трещины, разрушение штукатурного слоя, повреждение кирпичной кладки и бетона, дефекты межпанельных и межплитных швов, зоны увлажнения, а также локальные сквозные нарушения ограждающего контура.

Программная обработка включала раздельное представление площадных и линейных повреждений. Для площадных дефектов учитывалась площадь поврежденного участка, для линейных – протяженность трещин, раскрытых швов и других протяженных нарушений сплошности. Такое разделение позволило учитывать различия в механизме теплотехнического влияния повреждений.

После подготовки данных средствами Python формировались сводные массивы по стадиям дефектного состояния и срокам эксплуатации. На их основе определялась возрастная структура дефектного фонда, оценивались параметры переходов между стадиями и выполнялся прогноз изменения потерь теплоты.

Основная часть

Для формализации технического состояния наружных стен применена трехстадийная шкала дефектности. Стадия С соответствует начальному дефектному состоянию, стадия В – развитому дефектному состоянию, стадия А – критическому дефектному состоянию.

К стадии С относились локальные поверхностные повреждения, отдельные трещины ограниченного раскрытия и дефекты, которые не вызывают существенного нарушения сплошности ограждающего контура. Такие повреждения могут указывать на начало деградационного процесса, однако их теплотехническое влияние обычно ограничено.

Стадия В включала развитые трещины, разрушение отделочного слоя, повреждение кладки и швов, сопровождающиеся ухудшением герметичности и снижением теплозащитных свойств наружной стены. Данная стадия имеет особое эксплуатационное значение, поскольку дефекты уже оказывают заметное влияние на теплопотери, но еще могут быть устранены до перехода в критическое состояние.

К стадии А относились критические повреждения, включая сквозные трещины, значительное разрушение кладки, локальные сквозные дефекты и повреждения, способные существенно снизить эксплуатационную надежность наружных стен. Такие дефекты имеют наибольший вклад в дополнительные потери теплоты, поскольку они связаны с глубоким нарушением структуры ограждающей конструкции и повышением вероятности инфильтрации наружного воздуха.

При оценке теплотехнического влияния повреждений использовался раздельный учет площадных и линейных дефектов. Площадные дефекты рассматривались как локальные зоны наружной стены с ухудшенными теплозащитными свойствами. К ним относились разрушение штукатурного слоя, повреждение кладки, зоны увлажнения, нарушение защитного слоя и другие повреждения, характеризуемые площадью. Линейные дефекты рассматривались как протяженные повреждения, прежде всего трещины и раскрытые швы, через которые могут усиливаться теплопередача и инфильтрационные утечки наружного воздуха.

Для каждой стадии дефектного состояния задавался свой уровень теплотехнического влияния. Начальная стадия характеризовалась минимальным увеличением потерь теплоты, развитая стадия – более выраженным ухудшением теплозащитных свойств, критическая стадия – наибольшим вкладом в дополнительные потери. Такой подход позволяет учитывать, что одинаковые по виду дефекты могут иметь различное энергетическое значение в зависимости от степени их развития.

Возрастная динамика дефектного состояния описывалась как последовательный переход от начальной стадии к развитой и далее к критической. Обратные переходы в расчетном сценарии не учитывались, поскольку восстановление теплозащитных свойств наружной стены невозможно без ремонтно-восстановительного воздействия. В этом смысле критическое состояние рассматривалось как наиболее тяжелый результат накопления повреждений при отсутствии своевременного ремонта.

Для прогноза использовалась марковская модель последовательной деградации. Ее применение обусловлено тем, что дефекты наружных стен развиваются стадийно, а исходные данные технических обследований позволяют зафиксировать состояние конструкций в определенный момент времени, но не всегда содержат сведения о точном моменте возникновения каждого повреждения. Вероятностное описание переходов между стадиями позволяет получить расчетный сценарий изменения структуры дефектов и связанных с ними потерь теплоты.

Прогноз выполнялся на 30-летнем горизонте эксплуатации. На каждом расчетном шаге определялся вклад дефектов стадий С, В и А в общий уровень потерь теплоты через наружные стены. При переходе дефекта в более тяжелую стадию его вклад в теплопотери увеличивался. Это отражает инженерную логику процесса: поверхностное повреждение оказывает меньшее влияние на тепловой режим здания, чем развитая трещина, раскрытый шов или сквозной дефект наружной стены. Результаты расчета представлены на рис. 1.

Анализ исходной выборки показал, что дефектное состояние наружных стен котельных имеет выраженную стадийную структуру. В обследованных объектах встречались как начальные поверхностные повреждения, так и развитые и критические дефекты, непосредственно влияющие на теплозащитные свойства ограждающего контура. Это подтверждает необходимость перехода от простого учета количества повреждений к оценке их стадии, геометрических характеристик и потенциального теплотехнического влияния.

На начальном этапе расчетного периода суммарные потери теплоты через наружные стены составляют 498,9 кВт. При этом вклад дефектов стадии С равен 90,4 кВт, стадии В – 270,7 кВт, стадии А – 137,7 кВт. Следовательно, в исходном состоянии наибольшая часть дополнительных теплопотерь связана с развитыми дефектами стадии В. Это объясняется тем, что такие повреждения уже оказывают существенное влияние на наружные стены, но при этом встречаются чаще, чем критические дефекты. В начальный момент стадия В формирует 54,3% суммарных потерь, стадия А – 27,6%, стадия С – 18,1%.

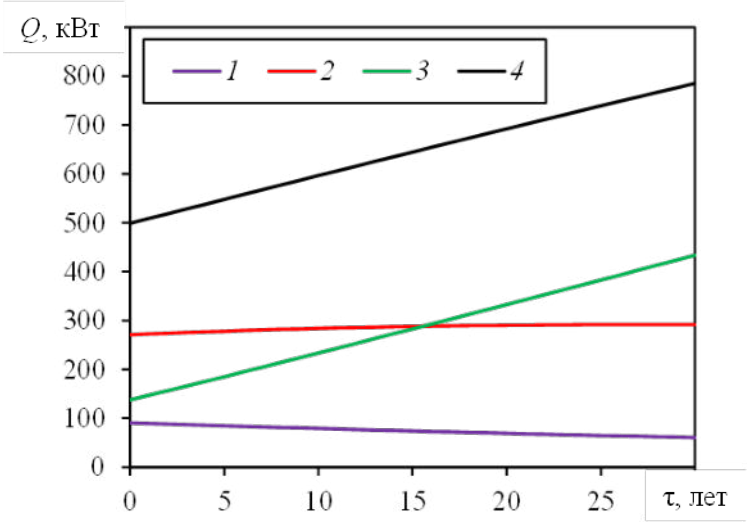


Рис. 1. Прогноз изменения потерь теплоты Q в зависимости от срока эксплуатации объекта: 1 – стадия B; 2 – стадия C; 3 – стадия A; 4 – суммарные потери теплоты

Дефекты стадии C в начале расчетного периода также формируют определенный вклад в общий уровень теплопотерь. Однако их влияние относительно ограничено, поскольку начальные повреждения обычно имеют меньшую площадь, меньшую глубину разрушения и не всегда сопровождаются выраженным нарушением сплошности ограждающего контура. Тем не менее их нельзя считать незначимыми, поскольку именно из этой группы при неблагоприятных условиях формируется часть последующих развитых повреждений.

Стадия B является наиболее важной с точки зрения эксплуатационного управления. Дефекты этой стадии уже приводят к заметному ухудшению теплозащитных свойств наружных стен, но еще не всегда требуют капитального вмешательства. В большинстве случаев именно на данном этапе возможны наиболее рациональные ремонтно-восстановительные мероприятия: заделка трещин, восстановление защитного слоя, ремонт швов, устранение локальных зон увлажнения, восстановление участков кладки и герметизация сопряжений. Если такие работы выполняются своевременно, можно предотвратить переход части повреждений в критическое состояние.

Наиболее интенсивное изменение наблюдается для дефектов стадии A. В начальный момент их вклад составляет 137,7 кВт, а к концу 30-летнего прогнозного периода достигает 433,4 кВт. Таким образом, потери теплоты, связанные с критическими повреждениями, увеличиваются на 295,7 кВт, или более чем в три раза. Доля стадии A в суммарных потерях увеличивается с 27,6 до 55,2%.

Критические повреждения имеют наибольшее теплотехническое значение, поскольку они связаны с глубоким нарушением структуры наружной стены. Сквозные трещины, значительное разрушение кладки, раскрытые швы и локальные сквозные дефекты формируют участки повышенной теплопередачи и могут усиливать инфильтрацию холодного наружного воздуха. В условиях продолжительного отопительного периода это приводит к устойчивому росту дополнительных потерь теплоты.

По мере увеличения срока эксплуатации вклад начальной стадии C постепенно снижается. К 2030 г. прогнозного периода потери теплоты, связанные с дефектами стадии C, уменьшаются до 60,7 кВт. Это снижение не означает улучшения состояния наружных стен. Напротив, оно отражает перераспределение дефектного фонда: часть начальных повреждений переходит в развитые, а затем в критические состояния.

Для стадии B наблюдается умеренное увеличение потерь теплоты. К концу прогнозного периода соответствующий показатель достигает 291,3 кВт. Данная стадия сохраняет суще-

ственную роль на всем интервале расчета, поскольку является переходной между начальными и критическими повреждениями. Вместе с тем ее доля в суммарных потерях снижается до 37,1% вследствие интенсивного роста вклада стадии А. Сравнение начальных и конечных значений приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение потерь теплоты в начале и конце прогнозного периода

Показатель	Начальный момент, кВт	Через 30 лет, кВт	Абсолютное изменение, кВт	Относительное изменение, %
Потери от стадии С	90,4	60,7	-29,7	-32,9
Потери от стадии В	270,7	291,3	+20,6	+7,6
Потери от стадии А	137,7	433,4	+295,7	+214,7
Суммарные потери	498,9	785,3	+286,4	+57,4

Сравнительные данные показывают, что суммарный рост потерь теплоты практически полностью определяется увеличением вклада критических повреждений. Снижение показателя для стадии С частично компенсирует общий прирост, однако не изменяет возрастающий характер суммарной зависимости.

За 30 лет расчетного периода потери увеличиваются с 498,9 до 785,3 кВт. Абсолютный прирост составляет 286,4 кВт, а относительное увеличение – 57,4%. Полученная зависимость показывает, что эксплуатационное старение наружных стен сопровождается не только накоплением дефектов, но и изменением их структуры в сторону преобладания более тяжелых стадий.

Особенно важно, что во второй половине прогнозного интервала основной вклад в рост теплопотерь начинает формировать стадия А. Это означает, что эксплуатационная стратегия, ориентированная только на устранение уже сформировавшихся критических дефектов, является запаздывающей. К моменту выявления таких повреждений значительная часть дополнительных теплопотерь уже реализуется, а ремонтные мероприятия становятся более трудоемкими и дорогостоящими.

Полученные результаты подтверждают необходимость перехода от описательной фиксации дефектов к прогнозному управлению техническим состоянием наружных стен котельных. При обследовании необходимо фиксировать не только факт наличия дефекта, но и его стадию, площадь, протяженность, расположение и предполагаемый механизм влияния на теплопотери. Это позволяет использовать результаты обследований не только для составления дефектной ведомости, но и для расчетного обоснования очередности ремонтных мероприятий.

Практическая значимость предложенного подхода заключается в возможности предварительного ранжирования котельных по уровню теплотехнического риска. Объекты, для которых прогнозируется рост доли критических дефектов, должны рассматриваться как приоритетные для инструментального обследования. В свою очередь, котельные с преобладанием дефектов стадии В могут быть включены в программу упреждающего ремонта, направленного на предотвращение дальнейшего ухудшения состояния наружных стен.

Следует подчеркнуть, что предложенный расчетный прогноз не заменяет техническое обследование. Он не позволяет без инструментальной проверки определить фактическое состояние конкретного участка стены. Однако он позволяет использовать накопленные данные обследований для оценки общей тенденции развития дефектности и формирования обосно-

ванной очередности выездов специалистов. Такой подход особенно актуален для территориально распределенных систем теплоснабжения, где большое число котельных расположено в удаленных населенных пунктах.

Выводы

С инженерной точки зрения представленный прогноз может использоваться в нескольких направлениях. Во-первых, для оценки потенциального роста дополнительных теплопотерь при отсутствии ремонта. Во-вторых, для определения возрастных интервалов, в которых требуется усиление диагностического контроля. В-третьих, для обоснования приоритетности восстановления теплозащитных свойств наружных стен. В-четвертых, для формирования исходных данных при экономической оценке ущерба от сверхнормативных потерь теплоты.

Таким образом, зависимость потерь теплоты Q от срока эксплуатации является не только расчетной характеристикой, но и инструментом эксплуатационного планирования. Она показывает, что поддержание энергетической эффективности котельной требует учета состояния строительной оболочки здания наряду с анализом оборудования и тепловых сетей.

В работе рассмотрен подход к прогнозированию потерь теплоты через наружные стены котельных с учетом развития дефектного состояния ограждающих конструкций. На основе данных технических обследований 28 зданий котельных и 147 дефектных записей выполнена стадийная классификация повреждений наружных стен.

Показано, что дефекты наружных стен целесообразно рассматривать не только как строительные повреждения, но и как факторы ухудшения теплотехнического состояния здания котельной. Наибольшее влияние на дополнительные теплопотери оказывают развитые и критические дефекты, связанные с разрушением кладки, раскрытием швов, трещинами и локальным нарушением сплошности ограждающего контура.

Установлено, что суммарные потери теплоты через наружные стены на 30-летнем горизонте эксплуатации возрастают с 498,9 до 785,3 кВт. Абсолютный прирост составляет 286,4 кВт, а относительное увеличение – 57,4 %. Это подтверждает, что развитие дефектного состояния наружных стен является значимым фактором снижения энергетической эффективности котельных.

Определено, что вклад начальной стадии C с течением времени снижается вследствие перехода части повреждений в более тяжелые состояния. Стадия B сохраняет существенное значение на всем расчетном интервале и может рассматриваться как ключевая стадия для упреждающего ремонта. Наиболее интенсивный рост характерен для стадии A, вклад которой к 30-му году достигает 433,4 кВт.

Полученные результаты могут использоваться для предварительного ранжирования котельных по уровню теплотехнического риска, обоснования сроков обследования наружных стен и планирования ремонтно-восстановительных мероприятий. Предложенный подход не заменяет инструментальное обследование, но позволяет повысить обоснованность принятия эксплуатационных решений и снизить риск запаздывающего ремонта.

Список литературы

1. Method for assessing heat loss in a district heating network with a focus on the state of insulation and actual demand for useful energy / S. Chicherin, V. Mašatin, A. Siirde, A. Volkova. – DOI 10.3390/en13174505 // Energies. – 2020. – Vol. 13, no. 17. – Art. 4505.

2. Quantification of heat energy losses through the building envelope: a state-of-the-art analysis with critical and comprehensive review on infrared thermography / I. Nardi, E. Lucchi, T. de Rubeis, D. Ambrosini. – DOI 10.1016/j.buildenv.2018.09.050 // Building and Environment. – 2018. – Vol. 146. – P. 190–205.

3. Energy impact of the air infiltration in residential buildings in the Mediterranean area of Spain and the Canary Islands / J. Feijó-Muñoz, C. Pardal, V. Echarri [et al.]. – DOI 10.1016/j.enbuild.2019.02.023 // Energy and Buildings. – 2019. – Vol. 188–189. – P. 226–238.

4. Tardy, F. A review of the use of infrared thermography in building envelope thermal property characterization studies / F. Tardy. – DOI 10.1016/j.jobe.2023.106918 // Journal of Building Engineering. – 2023. – Vol. 75. – Art. 106918.

5. Infrared thermography for quantitative thermal performance assessment of wood-framed building envelopes in Canada / M. Mahmoodzadeh, V. Gretka, I. Lee, P. Mukhopadhyaya. – DOI 10.1016/j.enbuild.2021.111807 // Energy and Buildings. – 2022. – Vol. 258. – Art. 111807.

6. Веснин, В. И. Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проемы / В. И. Веснин. – DOI 10.17673/Vestnik.2016.03.2 // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2016. – Т. 6, № 3 (24). – С. 10–16.

7. Markov chain modeling for predicting the service life of buildings and structural components / A. Zbiciak, D. Walasek, M. Nagirniak [et al.]. – DOI 10.3390/app15179287 // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15, no. 17. – Art. 9287.

8. Optimal inspection and maintenance planning for deteriorating structural components through dynamic Bayesian networks and Markov decision processes / P. G. Morato, K. G. Papakonstantinou, C. P. Andriotis [et al.]. – DOI 10.1016/j.strusafe.2021.102140 // Structural Safety. – 2022. – Vol. 94. – Art. 102140.

УДК 004.852:004.75

РАЗДЕЛЕНИЕ ФАЗ ПРЕДЗАПОЛНЕНИЯ И ДЕКОДИРОВАНИЯ ПРИ ИНФЕРЕНСЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Рахманкулов Ш.Ф., аспирант;
ORCID: 0009-0007-8913-6551;
Гарифуллин М.Ш., д.т.н., профессор, научный руководитель;
Галиев И.Ф., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия

SEPARATION OF PREFILLING AND DECODING PHASES IN INFERENCING LARGE LANGUAGE MODELS: AN EXPERIMENTAL STUDY

Rakhmankulov Sh.F., postgraduate student;
ORCID: 0009-0007-8913-6551;
Garifullin M.Sh., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academic Supervisor;
Galiev I.F., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена экспериментальному исследованию метода разделения фаз предзаполнения и декодирования (Prefill/Decode disaggregation, P/D) при обслуживании запросов к большим языковым моделям (БЯМ). Традиционный подход к развёртыванию инференса БЯМ предполагает обработку обеих фаз – предзаполнения (prefill) и пошагового декодирования (decode) – на одном вычислительном устройстве. Данная архитектура приводит к конкуренции за вычислительные ресурсы между двумя принципиально разными по характеру нагрузки процессами: предзаполнение является вычислительно-интенсивным (compute-bound), тогда как декодирование ограничено пропускной способностью памяти (memory-bound). В работе реализована и протестирована схема P/D-дезагрегации на двух графических процессорах (GPU, Graphics Processing Unit) NVIDIA RTX 3090 с использованием фреймворка SGLang

версии 0.5.9 в сочетании с системой передачи KV-кэша (KV – Key-Value, кэш ключ-значение) Mooncake в режиме TCP (Transmission Control Protocol, протокол управления передачей). В качестве модели использована Qwen3-4B-FP8. Сравнительное тестирование выполнено для трёх конфигураций: единый GPU, два GPU в режиме round-robin и P/D-дезагрегация. Нагрузочные испытания проводились при интенсивности запросов 8 RPS (512 входных / 256 выходных токенов). Оценивались следующие метрики: общая пропускная способность (токен/с), сквозная задержка (E2E, End-to-End), межтокенная задержка (ITL, Inter-Token Latency) на уровне 99-го перцентиля и максимальная ITL. Результаты показали, что P/D-дезагрегация обеспечивает сопоставимую с двухпроцессорной unified-конфигурацией пропускную способность (903 против 913 токен/с) при значительном улучшении стабильности генерации: ITL P99 снижается с 59 до 12 мс, максимальная ITL – со 132 до 15 мс. Выявлено, что применение TCP-транспорта вместо RDMA (Remote Direct Memory Access, прямой доступ к удалённой памяти) или NVLink увеличивает время до первого токена (TTFT, Time-To-First-Token), что следует учитывать при практическом развёртывании. Установлено, что P/D-дезагрегация наиболее целесообразна в сценариях потоковой передачи токенов пользователям, чувствительным к задержкам.

Ключевые слова: большие языковые модели, инференс, P/D-дезагрегация, предзаполнение, декодирование, SGLang, KV-кэш, Mooncake, межтокенная задержка, оптимизация

Abstract

This paper presents an experimental study of Prefill/Decode (P/D) disaggregation for large language model (LLM) inference serving. The conventional unified inference approach processes both the prefill phase and the autoregressive decode phase on a single graphics processing unit (GPU), which leads to resource contention between two fundamentally different workload types: prefill is compute-bound, while decode is memory-bandwidth-bound. We implement and evaluate a P/D disaggregation scheme using two NVIDIA RTX 3090 GPUs, SGLang v0.5.9, and Mooncake key-value (KV) cache transfer via TCP (Transmission Control Protocol) fallback mode with the Qwen3-4B-FP8 model. Three configurations are benchmarked: single unified GPU, two GPUs in round-robin unified mode, and P/D disaggregation. Load tests are performed at 8 requests per second (RPS) (512 input / 256 output tokens) and throughput (tokens/s), end-to-end (E2E) latency, P99 inter-token latency (ITL), and maximum ITL are measured. Results demonstrate that P/D disaggregation achieves throughput comparable to the two-GPU unified configuration (903 vs. 913 tokens/s), while substantially improving generation stability: P99 ITL drops from 59 ms to 12 ms and maximum ITL from 132 ms to 15 ms. The use of TCP transport instead of RDMA (Remote Direct Memory Access) or NVLink increases time-to-first-token (TTFT), which must be considered in practical deployments. P/D disaggregation is most beneficial in streaming scenarios with latency-sensitive users.

Keywords: large language models, inference, P/D disaggregation, prefill, decode, SGLang, KV-cache, Mooncake, inter-token latency, optimization

Введение

Большие языковые модели (далее – БЯМ), такие как GPT-4 [1], LLaMA и Qwen, стали фундаментальным инструментом в широком спектре прикладных задач: генерация текста, ответы на вопросы, написание кода и анализ данных. Однако промышленное обслуживание запросов к БЯМ сопряжено с серьёзными вычислительными и инженерными вызовами. Ключевым из них является обеспечение приемлемых задержек при одновременном высоком трафике пользовательских запросов.

Процесс инференса трансформерной модели [2] состоит из двух принципиально различных фаз. Фаза предзаполнения (prefill) обрабатывает весь входной промпт параллельно, генерируя KV-кэш для всех позиций. Данная фаза является вычислительно-интенсивной: загрузка GPU определяется операциями матричного умножения с высокой степенью параллелизма. Фаза декодирования (decode), напротив, генерирует выходные токены последова-

тельно – по одному за итерацию – и ограничена пропускной способностью памяти: основные затраты приходятся на чтение весов модели и KV-кэша из видеопамяти (VRAM, Video Random Access Memory).

При совместном выполнении обеих фаз на одном GPU (unified-режим) тяжёлые prefill-запросы вызывают периодические остановки фазы декодирования. Это явление, известное как «prefill-interruption», приводит к нестабильной межтокенной задержке (Inter-Token Latency, ITL) – пользователь наблюдает видимые паузы в потоке генерируемого текста. Данная проблема особенно критична для интерактивных сервисов со streaming-интерфейсом.

Метод P/D-дезагрегации (Prefill/Decode disaggregation) предлагает разместить обе фазы на отдельных вычислительных узлах [3, 4]. Prefill-узел обрабатывает входной контекст и передаёт сформированный KV-кэш на decode-узел, который занят исключительно авторегрессивной генерацией. Такое разделение устраняет конкуренцию за ресурсы GPU и потенциально позволяет оптимизировать каждый узел под специфику своей нагрузки.

Несмотря на теоретическую обоснованность метода, практические исследования его применения на потребительском оборудовании (NVIDIA RTX-класс) без специализированных межсоединений (RDMA, NVLink) практически отсутствуют в русскоязычной литературе. Настоящая работа восполняет данный пробел, представляя экспериментальное сравнение unified- и P/D-конфигураций на двух GPU RTX 3090 в реалистичных нагрузочных условиях.

Методика исследования

Эксперименты проводились на рабочей станции с двумя графическими процессорами NVIDIA GeForce RTX 3090 (24 ГБ VRAM каждый). Взаимодействие между GPU осуществлялось через системную шину PCIe (Peripheral Component Interconnect Express) без поддержки NVLink, что соответствует широко распространённым конфигурациям на базе потребительского и серверного оборудования среднего класса.

В качестве фреймворка обслуживания запросов использовался SGLang версии 0.5.9 [5] – современная система инференса с поддержкой P/D-дезагрегации. Передача KV-кэша между узлами обеспечивалась системой Mooncake [6] в режиме TCP loopback (без RDMA). Тестируемой моделью выбрана Qwen3-4B с квантованием FP8 (8-битный формат числа с плавающей точкой), обеспечивающим размещение модели в пределах одного GPU при сохранении высокого качества генерации.

Тестирование выполнялось в трёх конфигурациях:

1. Unified 1×GPU – единый графический процессор обрабатывает обе фазы;
2. Unified 2×GPU – два GPU в режиме round-robin (балансировка запросов без разделения фаз);
3. P/D disaggregation – один GPU выделен под фазу prefill, второй – под decode; маршрутизация запросов осуществляется через встроенный роутер SGLang.

Нагрузочный тест проводился при интенсивности 8 запросов в секунду (RPS), длина входного контекста составляла 512 токенов, длина генерируемого ответа – 256 токенов. Данные параметры соответствуют типичной нагрузке разговорного ассистента.

Оценивались следующие метрики производительности:

– пропускная способность (Throughput, токен/с) – суммарное количество генерируемых токенов в единицу времени;

– сквозная задержка (E2E Latency, мс) – время от отправки запроса до получения последнего токена;

– межтокенная задержка на уровне 99-го перцентиля (ITL P99, мс) – задержка между последовательными токенами у 1% наиболее медленных запросов;

– максимальная межтокенная задержка (Max ITL, мс) – наихудшее зафиксированное значение паузы в потоке генерации;

– время до первого токена (Time-To-First-Token, TTFT, мс) – задержка от получения запроса до генерации первого токена ответа.

Результаты

В табл. 1 представлены сводные результаты нагрузочного тестирования трёх конфигураций при RPS = 8.

Таблица 1

Сравнение метрик производительности при RPS = 8 (512/256 токенов)

Метрика	1× Unified	2× Unified	P/D Disagg.
Пропускная способность, токен/с	698	913	903
E2E Latency, мс	4 966	1 235	1 194
ITL P99, мс	227	59	12
Max ITL, мс	337	132	15
TTFT (median), мс	~86	~86	~216

Анализ результатов позволяет выделить несколько ключевых наблюдений.

Пропускная способность. Однопроцессорная unified-конфигурация обеспечивает 698 токен/с, что на 24% ниже двухпроцессорных вариантов. Конфигурации 2× Unified и P/D-дезагрегация демонстрируют практически идентичные значения (913 и 903 токен/с соответственно). Данный результат ожидаем: обе схемы задействуют одинаковое количество GPU, и их суммарная вычислительная мощность сопоставима.

Стабильность генерации. Ключевое преимущество P/D-дезагрегации проявляется в метриках межтокенной задержки. Значение ITL P99 для P/D-схемы составляет 12 мс – в 4,9 раза ниже, чем у конфигурации 2× Unified (59 мс), и в 18,9 раза ниже однопроцессорного варианта (227 мс). Ещё более выражено различие в максимальной ITL: 15 мс (P/D) против 132 мс (2× Unified) и 337 мс (1× Unified). Физический механизм данного эффекта состоит в следующем: в unified-режиме периодически поступающие «тяжёлые» prefill-запросы вытесняют выполнение decode-итераций, создавая скачкообразные задержки в уже начатых потоках генерации. В P/D-схеме decode-GPU освобождён от prefill-нагрузки и генерирует токены с постоянной, предсказуемой скоростью.

Время до первого токена. Медианное значение TTFT в P/D-конфигурации (~216 мс) в 2,5 раза превышает аналогичный показатель unified-схем (~86 мс). Данный оверхед обусловлен необходимостью передачи KV-кэша по TCP-соединению по пути GPU → системная память → loopback → системная память → GPU. В промышленных установках с прямым GPU-to-GPU соединением (NVLink, InfiniBand RDMA) данная задержка сокращается до единиц миллисекунд [6].

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с теоретическими предпосылками метода P/D-дезагрегации, сформулированными в работах [3, 4, 7]. Принципиально важным является следующее практическое наблюдение: на потребительском оборудовании без специализированных межсоединений (RDMA, NVLink) P/D-дезагрегация нецелесообразна для сценариев, в которых определяющей метрикой качества является TTFT. В частности, для задач однократной пакетной генерации (batch generation) или сценариев с преобладанием коротких ответов unified-конфигурация предпочтительна по совокупности метрик.

Напротив, для интерактивных потоковых сервисов, в которых пользователь наблюдает поток генерируемых символов в реальном времени, ITL является критически важной метрикой. Задержки свыше 50–100 мс воспринимаются как заметные «заикания». В этом контексте снижение ITL P99 с 59 до 12 мс обеспечивает качественно иной пользовательский опыт. Именно такой сценарий реализован, например, в публичных чат-сервисах на базе БЯМ.

Следует также отметить практическую доступность реализации: фреймворк SGLang запускает P/D-схему тремя отдельными командами (prefill-узел, decode-узел, маршрутизатор) без модификации исходного кода модели. В отличие от этого, попытки воспроизвести аналогичную схему средствами vLLM (открытый фреймворк для инференса БЯМ) завершились неудачей ввиду несовместимости версий коннекторов и маршрутизаторов, что согласуется с данными о незрелости P/D-интеграции в vLLM на момент проведения экспериментов.

Ограничением настоящего исследования является использование TCP loopback вместо высокоскоростных межсоединений, а также тестирование единственной модели и фиксированного профиля нагрузки. Перспективным направлением является оценка метода при варьировании соотношения длин входного и выходного контекстов, а также при неравномерной нагрузке с burst-трафиком.

Заключение

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование метода P/D-дезагрегации для инференса больших языковых моделей на базе двух GPU NVIDIA RTX 3090 с использованием SGLang v0.5.9 и Mooncake. Основные выводы состоят в следующем.

Пропускная способность P/D-дезагрегации сопоставима с двухпроцессорной unified-конфигурацией и на 29% превышает однопроцессорный вариант. Метод обеспечивает кратное улучшение стабильности генерации: ITL P99 снижается в 4,9 раза по сравнению с 2× Unified, максимальная ITL – в 8,8 раза. Достигнутые показатели делают P/D-дезагрегацию предпочтительным выбором для потоковых сервисов с высокими требованиями к равномерности генерации.

Основным компромиссом является увеличение времени до первого токена в 2,5 раза при использовании TCP-транспорта. Данный недостаток устраним при переходе на аппаратные межсоединения (RDMA, NVLink), широко доступные в современных датацентрах.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании инфраструктуры обслуживания БЯМ в прикладных системах, включая интеллектуальные диагностические комплексы для энергетики, где требуется интерпретируемость результатов в режиме реального времени.

Список литературы

1. Brown T.B., Mann B., Ryder N. [и др.] Language Models are Few-Shot Learners // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 1877–1901.

2. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. [и др.] Attention is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 5998–6008.

3. Patel P., Choukse E., Zhang C. [и др.] Splitwise: Efficient Generative LLM Inference Using Phase Splitting // Proceedings of the 51st Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA). – Buenos Aires, 2024. – P. 1–17.

4. Hu Y., Li Z., Cheng M. [и др.] Inference without Interference: Disaggregate LLM Inference for Mixed Downstream Workloads // arXiv preprint. – 2024. – arXiv:2401.11181.

5. Zheng L., Yin L., Xie Z. [и др.] SGLang: Efficient Execution of Structured Language Model Programs // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2312.07104.

6. Qin Z., Li J., Zhong Y. [и др.] Mooncake: A KVCache-centric Disaggregated Architecture for LLM Serving // arXiv preprint. – 2024. – arXiv:2407.00079.

7. Pope R., Douglas S., Chowdhery A. [и др.] Efficiently Scaling Transformer Inference // Proceedings of Machine Learning and Systems. – 2023. – Vol. 5. – P. 606–624.

8. Kwon W., Li Z., Zhuang S. [и др.] Efficient Memory Management for Large Language Model Serving with PagedAttention // Proceedings of the 29th Symposium on Operating Systems Principles (SOSP). – Koblenz, 2023. – P. 611–626.

9. Shoeybi M., Patwary M., Puri R. [и др.] Megatron-LM: Training Multi-Billion Parameter Language Models Using Model Parallelism // arXiv preprint. – 2019. – arXiv:1909.08053.

УДК 346.2; 346.5

ПРАВОВОЙ РЕЖИМ ИНФОРМАЦИИ, СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Салиева Р.Н., д.ю.н., профессор, главный научный сотрудник Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0278-4948;
E-mail: sargus6@yandex.ru

THE LEGAL REGIME GOVERNING INFORMATION CONTAINED IN THE STATE INFORMATION SYSTEM OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

Salieva R.N., Doctor of Law, Professor, Chief Researcher, Institute of Ecology and Subsoil Use Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0278-4948;
E-mail: sargus6@yandex.ru

Аннотация

Раскрывается правовой режим информации, содержащейся в государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса. Согласно сложившимся теоретическим положениям под правовым режимом понимается применение разных правовых средств для урегулирования определенной группы общественных отношений. Применительно к информации, содержащейся в государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса(ТЭК), рассматривается установленный законодательный порядок формирования информационной системы ТЭК, правила создания, использования. ГИС ТЭК создается в порядке, установленном Правительством РФ. В основе формирования находится информация (сведения, данные) о ТЭК. В целом ГИС ТЭК является федеральной государственной информационной системой. В соответствии с конституционными положениями к ведению Российской Федерации отнесены федеральные информация и информационные технологии. Вместе с тем анализ законодательства и литературы показал, что существуют обстоятельства, которые должны быть приняты во внимание. Отдельные авторы отмечают, что законодательные определения касательно информации, сведений, данных не совпадают. В качестве примера можно привести статью 1260 Гражданского кодекса Российской Федерации. Эта дополнительная информация позволяет нам увидеть, что термин «данные» в этом случае не равнозначен термину «информация». Имеются и другие обстоятельства, которые говорят о том, что термины «информация» и «данные» по своему содержанию не совпадают. Отметим, что одной из задач создания ГИС ТЭК является создание единой базы данных о состоянии и прогнозе развития отраслей ТЭК, т.е. предполагается формирование базы данных. Видимо со временем необходимо будет уточнить в законодательстве содержание рассматриваемых терминов. В качестве практически важного примера, подтверждающего также необходимость совершенствования законодательства рассматриваются виды информации, подлежащей включению в ГИС ТЭК. Как показывает практика практики необходимо также дополнение видов информации, подлежащих включению в ГИС ТЭК. Другим важным направлением совершенствования правовой основы является обеспечение защиты информации от неправомерных доступа и иных неправомерных действий.

Ключевые слова: информация, данные, база данных, правовой режим, информационная система, государственная информационная система, топливно-энергетический комплекс

Abstract

The legal regime of information contained in the state information system of the fuel and energy complex is disclosed. According to established theoretical principles, a legal regime is understood as the application of various legal means to regulate a specific group of social relations. With regard to the information contained in the state information system of the fuel and energy complex (FEC), the established legislative procedure for forming the FEC information system, as well as the rules for its creation and use, are examined. It is created in accordance with the procedure established by the Government of the Russian Federation. The formation is based on information (data, data) about the FEC. Overall, the GIS TEK is a federal state information system. In accordance with the constitutional provisions, federal information and information technologies are within the purview of the Russian Federation. At the same time, an analysis of the legislation and literature has shown that there are circumstances that must be taken into account. Some authors note that the legislative definitions regarding information, data, and facts do not coincide. As an example, we can cite Article 1260 of the Civil Code of the Russian Federation. This additional information allows us to see that the term "data" in this case is not equivalent to the term "information". There are other circumstances that indicate that the terms "information" and "data" do not coincide in their content. It should be noted that one of the tasks of creating GIS fuel and energy complex is to create a unified database on the state and forecast of the development of fuel and energy sectors, i.e. it is assumed that a database will be formed. Apparently, over time, it will be necessary to clarify the content of the terms in question in the legislation. As a practically important example, which also confirms the need to improve legislation, the types of information to be included in the GIS of the Fuel and energy complex are also considered. As practice shows, it is also necessary to supplement the types of information to be included in the Fuel and Energy Complex GIS. Another important area for improving the legal framework is ensuring the protection of information from unlawful access and other unlawful actions.

Keywords: information, data, database, legal regime, information system, state information system, fuel and energy complex

Введение

Согласно конституционным положениям к ведению Российской Федерации отнесены федеральные энергетические системы, а также федеральные информация, информационные технологии. Согласно общим положениям специального закона государственная информационная система топливно-энергетического комплекса (далее – ГИС ТЭК) является федеральной государственной информационной системой, которая содержит информацию о состоянии и прогнозе развития топливно-энергетического комплекса. Содержащееся в законе общее определение информации с использованием терминов «сведения», а также «сообщения», «данные» не дает дополнительного понимания. Анализ практики показывает, что требуется уточнение видов информации [1], подлежащих включению в ГИС ТЭК, а также уточнение понятия информации (данных), порядка сбора и предоставления информации (данных) [2], особенно о состоянии окружающей среды [3].

Изложенное подтверждает актуальность темы.

Методы и методология. При проведении исследования применялись как общенаучные методы – анализ, синтез, сравнение, обобщение, так и специальные методы анализа отдельные правовых норм, содержащие основные термины и определения. Проведен также анализ теоретических положений, изложенных в работах экспертов. На основе обобщения результатов анализа правовой основы, теоретических положений обоснованы отдельные предложения по дальнейшему совершенствованию законодательства о ГИС ТЭК.

Основная часть. Правовой режим рассматриваемой информации, содержащейся в государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса (далее – ГИС ТЭК), раскрыт в специальном законе [4]. Порядок создания и эксплуатации ГИС ТЭК установлен Правительством РФ [5]. Соответственно к ней применяются общие положения о ГИС [6]. В частности, отсюда вытекает, что данная информация, сведения и документы относятся к государственным информационным ресурсам. Также общие положения закрепляют, что такая

информация является официальной информацией. Имеются также такие общие критерии, как достоверность и актуальность информации. Согласно общим положениям государственные органы обязаны обеспечить доступ к информации и обеспечить защиту от неправомерных действий. В литературе обсуждается вопрос о соотношении рассматриваемых понятий. Одни авторы отмечают согласованность понятий [7]. Другие считают, что было бы неправильно так думать [8]. В качестве практически важного примера в действующем законодательстве, подтверждающим, что законодатель приравнивает эти понятия можно привести определение «государственные данные» [9]. Можно оценить данный факт, как подтверждение равнозначности слов. Однако, со временем необходимо уточнить содержание. Это можно проиллюстрировать следующим примером – определением, содержащимся в статье 1260 Гражданского кодекса Российской Федерации. Эта дополнительная информация позволяет нам увидеть, что термин «данные» в этом случае не равнозначен термину «информация». В Гражданском кодексе РФ раскрывается термин «база данных», как представленная в объективной форме совокупность самостоятельных материалов (статей, расчетов, нормативных актов, судебных решений и иных подобных материалов), систематизированных таким образом, чтобы эти материалы могли быть найдены и обработаны с помощью электронной вычислительной машины (ЭВМ). В этом примере видим, что слова «информация» и «данные» различаются. Следующим примером, иллюстрирующим необходимость уточнения рассматриваемых терминов, является вывод о необходимости уточнения терминов с учетом современных представлений [10].

В соответствии с Приказом Минэнерго РФ государственная информационная система топливно-энергетического комплекса введена в эксплуатацию с 29 апреля 2022 г. [11]. Оператором ГИС ТЭК является ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России [12].

Одной из задач создания ГИС ТЭК является создание единой базы данных о состоянии и прогнозе развития отраслей ТЭК, т.е. предполагается формирование базы данных [12].

Правилами предоставления в обязательном порядке субъектами ГИС ТЭК информации для включения в эту систему, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2012 г. № 1384, предусмотрена обязанность субъектов ГИС ТЭК предоставлять необходимую информацию [13]. Для выполнения этой обязанности субъектами ГИС используются программные средства.

Обсуждаются также вопросы о видах информации, подлежащих включению в ГИС ТЭК. В ст. 10 Закона [4] определены виды информации о состоянии и прогнозе развития топливно-энергетического комплекса. Как показывает практика перечень необходимо дополнить [3], в частности, видами информации в сфере экологии и охраны окружающей среды, а также дополнить такой раздел, как информация о наилучших доступных технологиях в ТЭК.

Выводы. Необходимо дальнейшее совершенствование правовой основы ГИС ТЭК. В частности, требуется совершенствование терминологического аппарата, а также дополнение видов информации, подлежащих включению в ГИС ТЭК.

Список литературы

1. Природоресурсное законодательство в условиях модернизации экономики России: современные проблемы развития: монография / В. Б. Агафонов, В. К. Быковский, Г. В. Выпханова и др.; под ред. Н. Г. Жаворонковой. – Москва : Норма, Инфра-М, 2014. – 160 с.

2. Ижаев О. А., Кутейников Д. Л. Использование информации ограниченного доступа, содержащейся в государственных информационных системах: правовое регулирование порядка предоставления информации третьим лицам // Актуальные проблемы российского права. – 2023. – № 2. – С. 61–70.

3. Салиева Р. Н. О видах информации в сфере экологии и охраны окружающей среды, подлежащих включению в информационную систему ТЭК в рамках единой научно-технической политики стран ЕАЭС // Бизнес. Менеджмент. Право. – 2021. №2. – С. 29-33.

4. Федеральный закон от 03.12.2011 N 382-ФЗ «О государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса» // Собрание законодательства РФ, 05.12.2011, № 49 (ч. 5), ст. 7060.

5. Постановление Правительства РФ от 18.04.2013 N 354 «Об утверждении Положения о создании, об эксплуатации и о совершенствовании государственной информационной системы топливно-энергетического комплекса» // Собрание законодательства РФ, 29.04.2013, № 17, ст. 2171.

6. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // Собрание законодательства РФ, 31.07.2006, № 31 (1 ч.), ст. 3448.

7. Вершинин А. П. Доступ к цифровой информации: правовое регулирование: учебное пособие. – Москва: ИНФРА-М, 2024. 241 с.

8. Назаров Н. А. Соотношение и разграничение информации и данных // Актуальные проблемы российского права. – 2024. – Т. 19. – № 11. – С. 21–30. – DOI: 10.17803/1994-1471.2024.168.11.021030.

9. Распоряжение Правительства РФ от 03.06.2019 № 1189-р «Об утверждении Концепции создания и функционирования национальной системы управления данными и плана мероприятий («дорожную карту») по созданию национальной системы управления данными на 2019 – 2021 годы» // Собрание законодательства РФ, 10.06.2019, № 23, ст. 3041.

10. Коптева Н. П. Соотношение понятий «данные», «цифровые данные», «информация» в международных и национальных стандартах России // Экономические стратегии и новые возможности в современных условиях: материалы работы международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 6 декабря 2022 г.). – СПб.: ООО «Скифия-принт», 2023. – С. 74 – 80. EDN VUBUZW.

11. Приказ Минэнерго России от 30.06.2022 № 606 «О вводе в эксплуатацию отдельных программных (функциональных) модулей государственной информационной системы топливно-энергетического комплекса» // СПС КонсультантПлюс.

12. Государственная информационная система топливно-энергетического комплекса // https://minenergo.gov.ru/activity/state-information-systems/gosudarstvennaya-informatsionnaya-sistema-toplivno-energeticheskogo-kompleksa (дата обращения 25.08.2026г).

13. Постановление Правительства РФ от 22.12.2012 № 1384 «Об утверждении Правил предоставления в обязательном порядке субъектами государственной информационной системы топливно-энергетического комплекса информации для включения в эту систему» // Собрание законодательства РФ, 31.12.2012, № 53 (ч. 2), ст. 7940.

УДК 332.1:338.47:004.9

ЦИФРОВАЯ СРЕДА РЕГИОНА И ВКЛАД РЫНКА ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ В ЭКОНОМИКУ: КОМПОЗИТНЫЙ ИНДЕКС И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПАНЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПО ПРИВОЛЖСКОМУ ФЕДЕРАЛЬНОМУ ОКРУГУ

Салтаев А.Д., аспирант ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 009-0001-8449-9050

REGIONAL DIGITAL ENVIRONMENT AND THE CONTRIBUTION OF THE LOGISTICS SERVICES MARKET TO THE ECONOMY: A COMPOSITE INDEX AND PRELIMINARY PANEL EVIDENCE FROM THE VOLGA FEDERAL DISTRICT

Saltaev A.D., Graduate student, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 009-0001-8449-9050

Аннотация

Концептуальные модели цифровой зрелости логистики, предложенные в отечественной литературе, до сих пор не переведены в форму, допускающую прямой расчёт по данным официальной статистики, из-за чего межрегиональные сопоставления опираются на экспертные оценки либо на показатели транспортной инфраструктуры, к цифровизации прямого отношения не имеющие. Цель работы состоит в том, чтобы построить композитный индекс цифровой среды региона, воспроизводимый исключительно на открытых данных Росстата, и в разведочном режиме проверить его связь с долей рынка логистических услуг в региональной экономике. Индекс собран из девяти показателей в трёх блоках (технологическом, коммуникационном и платформенно-потребительском), веса внутри блоков определены энтропийным методом Шеннона, каждый показатель нормирован к среднероссийскому уровню того же года, поскольку обследование Росстата сменило охват в 2020 г. и формулировки анкеты в 2023–2024 гг.; индекс характеризует общерегиональную среду использования технологий, а не зрелость перевозчиков, поэтому логистическая связь трактуется как приложение индекса. Расчёт выполнен по четырнадцати регионам Приволжского федерального округа за 2020–2024 гг. (семьдесят наблюдений); ранжирование устойчиво к схеме взвешивания при коэффициенте Спирмена 0,99 для равных весов, энтропийных весов по полному набору и первой главной компоненты. Оценивание с двусторонними фиксированными эффектами выявило отрицательную связь индекса с долей раздела «Транспортировка и хранение» в валовой добавленной стоимости региона (0,15 процентного пункта на одно внутригрупповое стандартное отклонение), устойчивую к исключению регионов, к схеме взвешивания и к построению индекса без нормировки, без значимой пространственной автокорреляции остатков и с доверительным интервалом, нуля не накрывающим; вместе с тем 77,5% несущей вариации индекса приходится на два года методологических разрывов обследования, поэтому связь идентифицируется преимущественно на 2022–2024 гг. и требует подтверждения на более длинных рядах. Сокращение доли сопровождается сопоставимым сокращением грузооборота при неизменной добавленной стоимости на тонно-километр, что гипотезу перераспределения маржи к внерегиональным посредникам не подтверждает; снижение доли совместимо как со статистической релокацией учёта, так и с ростом эффективности перевозок, вследствие чего однозначно истолковать его как ослабление вклада отрасли нельзя, а механизм остаётся открытым.

Ключевые слова: цифровая среда региона, рынок логистических услуг, композитный индекс, энтропийное взвешивание, Приволжский федеральный округ, панельные данные, валовая добавленная стоимость, разрывы наблюдения, робастность, фиксированные эффекты

Abstract

Conceptual models of logistics digital maturity proposed in the Russian literature remain non-computable, forcing interregional comparison to rely on expert judgement or on transport infrastructure indicators unrelated to digitalization. The aim is to build a composite index of the regional digital environment, reproducible from open Rosstat data alone, and to explore, rather than establish, its association with the share of the logistics services market in the regional economy. The index combines nine indicators in three blocks (technological, communication, platform-consumer), weighted within blocks by Shannon entropy and normalised to the same-year national average, since the Rosstat survey changed coverage in 2020 and its questionnaire in 2023–2024; it captures the general regional environment of technology use rather than carrier maturity, so the logistics association is an application of the index. The calculation covers fourteen regions of the Volga Federal District over 2020–2024 (seventy observations); the ranking is robust to the weighting scheme (Spearman 0.99). Two-way fixed effects estimation reveals a negative association between the index and the share of the «Transportation and storage» section in regional gross value added (0.15 percentage points per within-group standard deviation) robust to dropping regions, to the weighting scheme and to building the

index without normalisation, with no significant residual spatial autocorrelation and a confidence interval excluding zero; yet 77.5 per cent of the index's identifying variation falls in the two break years, so it is identified mainly on 2022–2024 data and needs confirmation on longer break-free series. The declining share is accompanied by a comparable decline in freight turnover at unchanged value added per tonne-kilometre, which does not support the margin-capture hypothesis; the decline is consistent both with a relocation of accounting and with efficiency gains, so it cannot be read as a weakening of the sector's contribution, and the mechanism remains open.

Keywords: regional digital environment, logistics services market, composite index, entropy weighting, Volga Federal District, panel data, gross value added, survey breaks, robustness, fixed effects

Введение

Тезис о влиянии цифровизации на региональные рынки логистических услуг общепринят, но сопоставимое между регионами измерение встречается реже. Причина в том, что модели зрелости строятся под отдельное предприятие. П. Голиньска-Доусон с соавторами предлагают пятиуровневую шкалу интеллектуальных технологий в логистике, связывая её с внешними рыночными драйверами [1]; Я. Бродны и М. Тутак оценивают зрелость предприятий Центральной и Восточной Европы методами многокритериального выбора с энтропийными весами [2]. Переход от зрелости компаний к зрелости территории в них не описан.

Отечественные работы подошли к региональному уровню ближе, но до рынка не дошли. Н. А. Матушкина, С. Н. Котлярова и Ю. Г. Мыслякова построили интегральный индекс цифровой готовности регионального транспортного комплекса, апробировав его на двадцати регионах, срез 2020 г. [3]. С. Г. Пьянкова и Е. С. Заколюкина рассчитали индекс цифровой транспортной инфраструктуры за 2016–2021 гг., агрегировав его до федеральных округов и измерив инфраструктуру, а не работу операторов [4]. Общерегиональные индексы цифровой трансформации учитывают транспорт одним из направлений, сворачивая его в единый рейтинг: у А. О. Вереникина и А. Ю. Вереникиной транспортно-логистического субиндекса нет [5]. Пятиблочная модель цифровой зрелости регионального рынка логистических услуг осталась концептуальной: её показатели, по признанию автора, не образуют единой статистической базы [6].

Работа операционализирует обеспеченную наблюдаемыми показателями часть этой модели и в разведочном режиме проверяет связь индекса с вкладом логистики в экономику региона. Границы конструкта следует очертить сразу. Из пяти блоков модели [6] операционализированы три (технологический, коммуникационный, платформенно-потребительский); кадровый и институциональный исключены за отсутствием сопоставимых рядов, поэтому речь идёт о частичной эмпирической редукции модели, а не о развитии теории. Девять показателей измеряют использование цифровых технологий организациями и населением региона в целом, не привязаны к разделу «Транспортировка и хранение» и с 2020 г. охватывают лишь крупные и средние организации, тогда как рынок автоперевозок образован преимущественно индивидуальными предпринимателями и микропредприятиями. Индекс поэтому характеризует среду работы участников рынка, а не зрелость перевозчиков; связь с логистикой обеспечивается теоретической рамкой и привязкой к доле отрасли и трактуется ниже как гипотеза, а единицей наблюдения выступает административный субъект, несовершенный контейнер для трансграничной логистики.

Методика

Показатели и источники. Индекс собран из девяти показателей Росстата по субъектам Российской Федерации (приложение к сборнику «Регионы России», форма № 3-информ); они отвечают технологическому, инфраструктурно-коммуникационному и рыночному контурам пятиблочной модели [6]. Кадровый и институциональный блоки исключены: сопоставимых региональных рядов нет (табл. 1).

Таблица 1

Состав индекса цифровой среды и энтропийные веса

Блок	Показатель	Вес
Технологический	«Облачные» сервисы	0,314
	Интернет вещей	0,269
	Искусственный интеллект	0,227
	Технологии больших данных	0,190
Коммуникационный	Наличие веб-сайта	0,393
	Широкополосный доступ в Интернет	0,365
	Электронный обмен данными	0,242
Платформенно-потребительский	Цифровые платформы	0,680
	Онлайн-заказы населения	0,320

Источник: рассчитано автором по данным Росстата. В первых восьми показателях измеряется удельный вес организаций, использовавших технологию, в последнем измеряется удельный вес населения.

Нормировка. Обследование пережило два методологических разрыва: с отчёта за 2020 г. из него исключены субъекты малого предпринимательства, в 2023–2024 годах изменены формулировки анкеты. В абсолютных значениях это обвал: доля российских организаций, применявших технологии больших данных, упала с 30,4% в 2022 г. до 8,6% в 2024 г. Общий для всех регионов разрыв в относительной форме сокращается, поэтому каждый показатель пересчитан в отношение регионального значения к среднероссийскому того же года. Среднероссийский уровень берётся как опубликованное Росстатом значение по Российской Федерации в целом и по панели из четырнадцати регионов не пересчитывается, поэтому механической зависимости от состава панели нормировка не вносит.

Формально относительное значение показателя j в регионе i за год t равно $r(i,j,t) = x(i,j,t) / \bar{x}(RF,j,t)$, где $\bar{x}(RF,j,t)$ обозначает среднероссийское значение того же года (формула 1). Относительные значения минимаксно нормированы по панели со сдвигом в интервал [0,1; 1,0]: $z = 0{,}1 + 0{,}9 \cdot [r - \min(r_j)] / [\max(r_j) - \min(r_j)]$ (формула 2); сдвиг обеспечивает строгую положительность, необходимую для энтропийных весов. Энтропийный вес показателя внутри блока определён по Шеннону: $e_j = -k \cdot \Sigma\, p \cdot \ln p$ при $p = z / \Sigma z$ и $k = 1/\ln N$, откуда $w_j = (1 - e_j) / \Sigma(1 - e_j)$ (формулы 3–4). Итоговый индекс есть среднее трёх блочных субиндексов с равными весами: $I = (S_{тех} + S_{комм} + S_{платф})/3$ (формула 5).

Устойчивость позиций проверена ранговой корреляцией Спирмена: по границам 2022/2023 и 2023/2024 она от 0,685 до 0,981, граница 2020 г. воспроизводится хуже: 0,444 по широкополосному доступу, 0,689 по облачным сервисам. Для больших данных, интернета вещей, искусственного интеллекта и цифровых платформ рядов за 2019 г. нет, граница непроверяема. Допущение о пропорциональности выполняется, следовательно, частично; для контроля риска индекс продублирован при той же схеме весов внутригодовыми z-оценками и рангами, без отношения к среднероссийскому уровню.

Взвешивание и робастность. Выбор объективной схемы следует рекомендации С. Греко с соавторами: взвешивание и агрегирование остаются самыми уязвимыми шагами построения композитных индикаторов, анализ робастности чаще всего пропускают [7]. Блоки агрегированы с равными весами; это экспертное решение: вес показателя в двухэлементном блоке выше, чем в четырёхэлементном. Энтропийные веса чувствительны и к интервалу нормировки, поэтому выводы опираются на устойчивость ранжирования, а не на сами веса. Ранжирование со-

поставлено с равными весами девяти показателей, энтропийными весами по полному набору и первой главной компонентой (49,0% дисперсии): коэффициент Спирмена везде 0,991. Эта проверка подтверждает устойчивость порядка регионов; устойчивость самого коэффициента панельной регрессии к схеме весов показана отдельно (см. «Границы устойчивости связи»).

Оценивание. Вклад логистики измерен долей раздела H «Транспортировка и хранение» в валовой добавленной стоимости (ВДС) региона. Раздел включает также трубопроводный, железнодорожный, водный и воздушный транспорт, складское хозяйство и почтово-курьерскую деятельность (ОКВЭД2), а региональной разбивки по подразделам нет, поэтому проверка выполнена и без четырёх регионов с крупными трубопроводными активами. Железнодорожная и почтовая компоненты, администрируемые преимущественно федерально, этой процедурой из зависимой переменной не изымаются; их отдельная проверка требует недоступной разбивки и обозначена как ограничение. Рассмотрены также грузооборот автомобильного транспорта (наиболее логистикоспецифичная из доступных мер, свободная от трубопровода и железной дороги, хотя и объёмная, а не стоимостная) и ВДС раздела H на тонно-километр. Панель охватывает четырнадцать регионов Приволжского федерального округа за 2020–2024 годы, то есть семьдесят наблюдений.

Модель: двусторонние фиксированные эффекты явными фиктивными переменными, контроль по логарифму плотности дорог, стандартные ошибки кластеризованы по регионам, эталонное распределение t с тринадцатью степенями свободы. При четырнадцати кластерах асимптотика поправки ненадёжна, поэтому значимость проверена вайлд-бутстрапом с весами Радемахера и наложенной нулевой гипотезой (9 999 повторений) и перестановкой траекторий регионов (5 000 повторений, оценка (1 + r) / (B + 1)).

Основная часть

Дифференциация цифровой среды. Значения индекса приведены в табл. 2.

Таблица 2

Индекс цифровой среды регионов Приволжского федерального округа

Регион	2020	2024	Среднее	Δ 24/20
Пермский край	0,708	0,667	0,656	−0,041
Нижегородская область	0,657	0,646	0,633	−0,011
Чувашская Республика	0,358	0,812	0,592	+0,454
Оренбургская область	0,568	0,536	0,578	−0,032
Республика Татарстан	0,604	0,366	0,500	−0,238
Удмуртская Республика	0,371	0,593	0,484	+0,222
Самарская область	0,441	0,495	0,456	+0,053
Республика Марий Эл	0,386	0,486	0,441	+0,100
Республика Башкортостан	0,439	0,450	0,423	+0,011
Саратовская область	0,354	0,360	0,393	+0,006
Кировская область	0,364	0,424	0,361	+0,060
Ульяновская область	0,181	0,445	0,348	+0,263
Пензенская область	0,424	0,347	0,336	−0,076
Республика Мордовия	0,254	0,330	0,267	+0,076

Источник: рассчитано автором по данным Росстата. Среднее рассчитано по полному пятилетнему ряду. Межгодовые перемещения отдельных регионов во многом отражают регрессию к среднему и прямым свидетельством результативности региональной политики служить не могут.

Разрыв крайних позиций устойчив: среднее Пермского края в 2,5 раза выше, чем у Республики Мордовия. Коэффициент вариации снизился с 0,343 до 0,283 при незначимом тренде (p = 0,139), сигма-конвергенция не подтверждена.

Крайние перемещения требуют осторожной трактовки. Чувашская Республика прибавила 0,454 пункта, Республика Татарстан потеряла 0,238 и опустилась на одиннадцатое место (у неё ухудшились шесть корпоративных индикаторов из семи). Оба случая частично объясняются регрессией к среднему: наклон регрессии прироста индекса на исходный уровень равен −0,677 (p = 0,021), поэтому межгодовые перемещения прямым свидетельством успеха региональной политики не служат.

Связь с вкладом логистики. Результаты оценивания приведены в табл. 3.

Таблица 3

Связь индекса цифровой среды с показателями рынка логистических услуг

Зависимая переменная	Коэф.	Ст. ош.	p (t_{13})	p (бутстр.)	R^2 вн.
1. Доля раздела H в ВДС, %	−2,411	0,719	0,0052	0,0022	0,222
2. То же, индекс с лагом в год	−4,146	0,812	0,0002	0,0039	0,395
3. Логарифм ВДС раздела H	−0,400	0,152	0,0210	0,0317	0,198
4. Логарифм ВДС региона в целом	+0,061	0,116	0,6077	–	0,174
5. Логарифм грузооборота	−0,534	0,160	0,0052	0,0461	0,111
6. Логарифм ВДС на тонно-километр	+0,135	0,177	0,4599	0,4734	0,037

Примечание: двусторонние фиксированные эффекты, контроль плотности автомобильных дорог, N = 70 (в модели 2 N = 56), 14 кластеров. Модель 2 оценена не с лагом, а на подвыборке 2021–2024 годов, где связь сильнее и без лага (−3,614); её усиление относительно модели 1 отражает смену периода, а не запаздывание, поэтому наибольший по модулю коэффициент таблицы не следует читать как оценку эффекта. Модели 3, 5 и 6 связаны тождеством: логарифм добавленной стоимости на тонно-километр есть разность двух первых. 95-процентные доверительные интервалы (percentile-t вайлд-бутстрап): модель 1 [−4,23; −0,52], модель 3 [−0,80; 0,00], модель 5 [−0,77; −0,30], модель 6 [−0,15; +0,42].

Источник: рассчитано автором по данным Росстата.

Размер эффекта измеряется в единицах наблюдаемой вариации, а не шкалы: внутригрупповое стандартное отклонение равно 0,061, а «единица шкалы» вдвое превышает наибольший размах. Прирост на такое отклонение отвечает снижению доли раздела H на 0,147 процентного пункта, или 2,7% её среднего уровня (5,48%). Ростом знаменателя это не объясняется: индекс связан с логарифмом ВДС самого раздела H, но не с совокупной ВДС региона (модели 3 и 4). Речь о замедлении роста ВДС раздела H относительно экономики региона, а не о её сокращении: за 2020–2024 гг. ВДС раздела H в округе выросла на 94,6% против 87,5% по экономике, и модель фиксирует отклонения от этой траектории внутри регионов.

Границы устойчивости связи. Оценка выдерживает поочерёдное исключение каждого из четырнадцати регионов (от −3,09 до −2,19), отказ от контроля плотности дорог (−2,63), удаление четырёх трубопроводных регионов (−2,92, p = 0,033) и исключение железнодорожно-узловых Самарской и Нижегородской областей (−2,28, p = 0,007). Коэффициент устойчив не только к порядку регионов, но и к схеме взвешивания самого индекса: при размерно-взвешенных блоках он равен −2,25 (p = 0,007), на первой главной компоненте трёх субиндексов (72,1 % их дисперсии, ранговая корреляция с индексом 0,987) эквивалентен базовому по знаку и значимости (p = 0,002), а обе конструкции без нормировки к среднероссийскому уровню

его воспроизводят (z-оценки −0,160, ранги −0,145). Инвертированный из вайлд-бутстрапа 95-процентный доверительный интервал равен [−4,23; −0,52] и нуля не накрывает. Остатки базовой модели не обнаруживают значимой пространственной автокорреляции: индекс Морана по матрице смежности регионов округа во все годы незначим (от +0,24 до −0,22, перестановочные $p \geq 0{,}18$), поэтому пространственные переливы, содержательно мыслимые, в остаточной структуре не проявляются. Перестановка траекторий даёт $p = 0{,}013$, плацебо-проверки чисты ($p = 0{,}930$ и 0,964), а объединённая регрессия без фиксированных эффектов незначима ($p = 0{,}247$): связь проявляется во внутрирегиональной динамике, а не в различиях уровней.

Устойчивость к этим возмущениям, однако, не снимает главного ограничения идентификации: 77,5% внутригрупповой дисперсии индекса (42,0% в 2020 г. и 35,5% в 2024 г.) приходится на два года методологических разрывов обследования, и все перечисленные проверки опираются на ту же вариацию. Проверки, изолирующие вариацию вне граничных лет, дают смешанную, но более благоприятную, чем в первом приближении, картину: с регион-специфичными трендами коэффициент сохраняет знак и величину, теряя значимость (−2,235, $p = 0{,}233$), а на подпериоде, включающем 2020 г., связи нет (−0,303, $p = 0{,}844$), но на свободном от обоих разрывов интервале 2021–2023 гг. точечная оценка по модулю не уступает базовой (−3,349), а её незначимость на границе ($p = 0{,}089$) при трёх годах и сорока двух наблюдениях указывает скорее на недостаток мощности, чем на отсутствие связи. Вдобавок 2020 г. пришёлся на пандемийный шок транспорта, регион-специфичные компоненты которого годовые эффекты не снимают. Поэтому связь устойчива к широкому набору возмущений, но идентифицируется преимущественно на данных 2022–2024 гг., и окончательное подтверждение требует более длинных рядов без разрывов.

О механизме. Очевидное объяснение, согласно которому цифровые платформы перераспределяют координацию и маржу к операторам с внерегиональной регистрацией (работа остаётся в регионе, а часть ВДС уходит), данными не поддерживается. При таком механизме грузооборот менялся бы слабее ВДС, а удельная отдача падала; наблюдается иное: связь индекса с логарифмом грузооборота не уступает связи с логарифмом ВДС раздела H (−0,534 против −0,400; доверительный интервал коэффициента при грузообороте [−0,77; −0,30] нуля не накрывает), а ВДС на тонно-километр с индексом не связана вовсе (интервал [−0,15; +0,42]). Различие двух первых коэффициентов незначимо (модель 6, $p = 0{,}460$): гипотеза не подтверждена, но и не опровергнута.

Картина совместима как минимум с тремя объяснениями, принципиально различными по тому, что означало бы снижение доли. Релокация учёта: консолидация перевозчиков в структуры с внерегиональной регистрацией выводит из региональной статистики и тонно-километры, и ВДС; это статистический артефакт привязки, а не изменение отрасли. Структурный сдвиг: быстрее цифровизуются регионы с опережающим ростом обработки и торговли, где транспорт теряет долю; снижение доли здесь есть признак желательного отраслевого апгрейда. Эффект координации: цифровое планирование сокращает порожний пробег и число операций на единицу товаропотока; доля падает потому, что регион получает ту же логистику дешевле. Существенно, что под двумя из трёх объяснений снижение доли не является ослаблением вклада отрасли, а под первым оно вовсе не реально, поэтому нормативная валентность связи не выводится из знака коэффициента даже при её подтверждении. Различить объяснения нельзя: для первого нужна налоговая отчётность о принадлежности плательщиков, для третьего нужны данные о порожнем пробеге, а в открытом доступе нет ни тех, ни других. Первый механизм к тому же пространственный: релокация есть межрегиональный перелив, а рост ВДС раздела H на уровне округа (94,6%) при внутрирегиональных снижениях совместим с внутриокружным перераспределением; впрочем, значимой пространственной автокорреляции остатков индекс Морана не выявляет (см. «Границы устойчивости связи»), так что в наблюдаемой структуре этот канал не проявляется. Наконец, локализация связи в 2022–2024 гг. совпадает с санкционной перестройкой логистики, и цифровизация и реструктуризация отрасли могли

быть параллельными следствиями внешнего шока. Выводы о смене конкурентной динамики отрасли под влиянием цифровых технологий [8] и рамка различения воздействия платформ на рынок экспедирования [9] задают направление проверки, но её не заменяют.

Разложение на субиндексы контуры не разделяет: поодиночке значимы платформенно-потребительский (−2,214, p = 0,005) и технологический (−1,370, p = 0,009) блоки, но вместе первый даёт p = 0,077 (0,032 по бутстрапу), а второй значимость теряет; без трубопроводных регионов платформенный блок её не сохраняет (p = 0,301).

Ограничения. Ограничения образуют три группы. Измерительные: показатели цифровизации публикуются по региону целиком, без пересечения с видом деятельности, и с 2020 г. охватывают лишь крупные и средние организации, поэтому индекс характеризует среду, а не зрелость перевозчиков; нормировка снимает общий разрыв обследования, но не его дифференциальную по регионам компоненту, а при обвале национального знаменателя (большие данные, 2024) деление на малое число механически раздувает относительную дисперсию; ВДС взята в текущих ценах; раздел H неоднороден, и его федерально администрируемые железнодорожная и почтовая компоненты из зависимой переменной не изъяты. Идентификационные: несущая вариация сосредоточена в годах разрывов и отчасти пандемийного шока, идентификация остаётся наблюдательной, пространственные переливы (для которых С. Маццаферро с соавторами предложили географически взвешенный анализ главных компонент [10]) не моделировались, панель мала. Интерпретационные: знак коэффициента не задаёт нормативной валентности, поскольку под частью механизмов снижение доли отражает эффективность или структурный сдвиг. Бóльшая часть программы усиления в настоящей редакции выполнена (исключение железнодорожно-узловых регионов, переоценка коэффициента при альтернативных схемах взвешивания и на главной компоненте, индекс Морана на остатках, доверительные интервалы из вайлд-бутстрапа, оценка на свободном от разрывов интервале 2021–2023 гг.), и связь подтверждается. Открытыми остаются два пункта, требующих дополнительных рядов: прямая фальсификация на экспозицию региона к разрывам (доля малого предпринимательства до 2020 г.) и точная проверка амплификации малым знаменателем на уровне девяти отдельных показателей (здесь выполнена лишь на уровне блоков); расчёт по всем субъектам Российской Федерации вынес бы идентифицирующую вариацию за пределы одного индустриального округа и граничных лет.

Выводы

Композитный индекс цифровой среды региона считается по открытым данным Росстата без экспертных оценок и даёт устойчивое к схеме взвешивания ранжирование. Нормировка к среднероссийскому уровню нейтрализует разрывы наблюдения лишь частично: через границу 2020 г. ранговая устойчивость отдельных показателей падает до 0,44. Разрыв внутри округа за 2020–2024 гг. не сократился, крайние позиции различаются в 2,5 раза. Этот воспроизводимый измерительный инструмент и диагностика его чувствительности к разрывам обследования образуют основной, наиболее обеспеченный доказательствами вклад работы.

Обнаруженная отрицательная связь роста индекса со снижением доли раздела «Транспортировка и хранение» в ВДС (0,15 п. п. на одно внутригрупповое стандартное отклонение) устойчива к исключению регионов (включая трубопроводные и железнодорожно-узловые), к схеме взвешивания индекса и к его построению без нормировки, не обнаруживает значимой пространственной автокорреляции остатков и имеет доверительный интервал, нуля не накрывающий; на свободном от разрывов интервале 2021–2023 гг. она сохраняет знак и величину, но значима лишь на границе. Идентификация опирается преимущественно на данные 2022–2024 гг., поэтому вывод справедлив для этого периода и требует подтверждения на более длинных рядах без разрывов. Сопутствующее сокращение грузооборота при неизменной ВДС на тонно-километр гипотезу о перераспределении маржи не подтверждает; механизм не установлен, а снижение доли совместимо как с релокацией учёта, так и с ростом эффективности, поэтому истолковать его как ослабление вклада отрасли нельзя.

Отсюда следует методологический принцип, который данная связь иллюстрирует, но не доказывает: показатели проникновения цифровых технологий (индикаторы входа) и показатели удержания добавленной стоимости в регионе (индикаторы результата) концептуально различны, и первые не заменяют вторых при оценке результативности региональной логистической политики. В пределах наблюдаемого материала рост индикаторов проникновения совместим со снижением доли отрасли в экономике региона, но интерпретировать это как тревожный сигнал преждевременно, поскольку нормативная валентность факта зависит от неустановленного механизма. Поэтому мониторинг региональной цифровизации может потребовать дополнения показателями удержания ВДС, однако обоснованность такого дополнения должна проверяться вместе с механизмом. Часть источников открыта уже сейчас (налоговые поступления по разделам классификатора и субъектам, единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства), но налоговая привязка сама наследует артефакт места регистрации плательщика, порождающий и гипотезу релокации, поэтому требует данных по месту деятельности. Проверка трёх конкурирующих объяснений, программа робастности из раздела «Ограничения» и расчёт по всем субъектам Российской Федерации составляют направление дальнейшей работы.

Список литературы

1. Impact of Market Drivers on the Digital Maturity of Logistics Processes in a Supply Chain / P. Golinska-Dawson, K. Werner-Lewandowska, K. Kolinska, A. Kolinski // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, № 4. – Art. 3120. – DOI 10.3390/su15043120.

2. Brodny, J. Assessing the level of digital maturity of enterprises in the Central and Eastern European countries using the MCDM and Shannon's entropy methods / J. Brodny, M. Tutak // PLOS ONE. – 2021. – Vol. 16, № 7. – Art. e0253965. – DOI 10.1371/journal.pone.0253965.

3. Матушкина, Н. А. Оценка готовности регионального транспортного комплекса к цифровой трансформации / Н. А. Матушкина, С. Н. Котлярова, Ю. Г. Мыслякова // Экономика региона. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 802–819. – DOI 10.17059/ekon.reg.2022-3-13.

4. Пьянкова, С. Г. Управление цифровой транспортной инфраструктурой региона / С. Г. Пьянкова, Е. С. Заколюкина // Управленец. – 2024. – Т. 15, № 1. – С. 70–82. – DOI 10.29141/2218-5003-2024-15-1-5.

5. Вереникин, А. О. Потенциал цифровой трансформации: рейтинг регионов РФ / А. О. Вереникин, А. Ю. Вереникина // Экономика региона. – 2024. – Т. 20, № 4. – С. 1008–1025. – DOI 10.17059/ekon.reg.2024-4-3.

6. Салтаев, А. Д. Трансформация региональных рынков логистических услуг под влиянием цифровизации: факторы, эффекты и институциональные ограничения / А. Д. Салтаев // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2026. – Т. 14, № 3. – С. 283–292. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2026.03.14.030.

7. On the Methodological Framework of Composite Indices: A Review of the Issues of Weighting, Aggregation, and Robustness / S. Greco, A. Ishizaka, M. Tasiou, G. Torrisi // Social Indicators Research. – 2019. – Vol. 141, № 1. – P. 61–94. – DOI 10.1007/s11205-017-1832-9.

8. Cichosz, M. Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices / M. Cichosz, C. M. Wallenburg, A. M. Knemeyer // The International Journal of Logistics Management. – 2020. – Vol. 31, № 2. – P. 209–238. – DOI 10.1108/IJLM-08-2019-0229.

9. Herold, D. M. The digital freight forwarder and the incumbent: A framework to examine disruptive potentials of digital platforms / D. M. Herold, B. Fahimnia, T. Breitbarth // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2023. – Vol. 176. – Art. 103214. – DOI 10.1016/j.tre.2023.103214.

10. Assessing regional digitalization in Europe: A spatial composite index approach / S. Mazzaferro, A. Cartone, P. Postiglione, A. D'Isidoro // Socio-Economic Planning Sciences. – 2026. – Vol. 105. – Art. 102485. – DOI 10.1016/j.seps.2026.102485.

УДК 332.1

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЦИФРОВИЗАЦИИ КАК ФАКТОРА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕРРИТОРИИ: ЭКОНОМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Сафина Э.Р., старший научный сотрудник ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан»;
ORCID: 0009-0006-0871-7948;
E-mail: safina-01@bk.ru;
Сафиуллин М.Р., д.э.н., профессор ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-3708-8184;
E-mail: Marat.Safiullin@tatar.ru

MODERN TRENDS OF DIGITALIZATION AS A FACTOR OF COMPETITIVENESS OF THE TERRITORY: ECONOMIC AND STATISTICAL ANALYSIS

Safina E.R., Senior Researcher, OSP «Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan»;
ORCID: 0009-0006-0871-7948;
E-mail: safina-01@bk.ru;
Safiullin M.R., Doctor of Economics, Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-3708-8184;
E-mail: Marat.Safiullin@tatar.ru

Аннотация

В условиях четвёртой промышленной революции цифровизация становится ключевым фактором конкурентоспособности территорий. На сегодняшний день разработано много подходов к измерению процессов цифровизации, но в то же время, в связи с тем, что всё динамично меняется, вопрос выявления наиболее значимых факторов цифровизации для управления территориальным развитием становится актуальным. Целью исследования является выявление на примере Российской Федерации на основе экономико-статистического анализа ключевых составляющих цифровизации, оказывающих наибольшее влияние на конкурентоспособность территории и разработка предложений по инструментарию управления конкурентоспособностью с учётом цифровых факторов. Объект исследования – результаты социально-экономического, индустриального и цифрового развития Российской Федерации. Предмет исследования – тренды и взаимосвязи между показателями цифровизации и конкурентоспособности. Гипотеза: совокупность ключевых компонентов цифровизации (технологии, люди, управление, влияние, готовность к будущему, инфраструктура, кибербезопасность) оказывает растущее и значимое влияние на конкурентоспособность территории, что может быть использовано при корректировке управленческих моделей страны.

Ключевые слова: цифровизация, конкурентоспособность территории, глобальные индексы цифровизации, индекс сетевой готовности, Рейтинг цифровой конкурентоспособности IMD, экономико-статистический анализ, факторы цифровизации, прогноз

Abstract

In the context of the fourth industrial revolution, digitalization is becoming a key factor in the competitiveness of territories. To date, many approaches have been developed to measure digitalization processes, but at the same time, due to the fact that everything is changing dynamically, the

issue of identifying the most significant factors of digitalization for managing territorial development is becoming relevant. The purpose of the study is to identify, using the example of the Russian Federation, on the basis of an economic and statistical analysis, the key components of digitalization that have the greatest impact on the competitiveness of the territory and to develop proposals for competitiveness management tools taking into account digital factors. The object of the research is the results of socio-economic, industrial and digital development of the Russian Federation. The subject of the research is trends and interrelations between indicators of digitalization and competitiveness. Hypothesis: the combination of key components of digitalization (technology, people, governance, influence, readiness for the future, infrastructure, cybersecurity) has a growing and significant impact on the competitiveness of the territory, which can be used to adjust the country's management models.

Keywords: digitalization, competitiveness of the territory, global digitalization indices, network readiness index, IMD Digital competitiveness Rating, economic and statistical analysis, digitalization factors, forecast

Введение

За последние 10 лет Россия продемонстрировала значительный прогресс в процессе цифровизации территории. По данным Росстата, доля населения, пользующегося интернетом, выросла с примерно 68% в 2015 г. до 85% в 2024 г., а вклад ИТ-сектора в ВВП увеличился более чем в 1,7 раза, превысив 2,2% (почти 4 трлн руб.) по итогам 2024 г. По данным ООН (E-Government Survey 2024), Россия заняла 43-е место среди 193 стран по индексу развития электронного правительства (EGDI), уступая таким лидерам, как Южная Корея, Швейцария и Сингапур. При этом с 2014 г. (27-е место в рейтинге UN E-Government Survey) наблюдается снижение позиций в условиях ускоренной цифровизации стран-лидеров. Согласно данным Росстата, в 2024 г. 79,0% российских организаций имели доступ к сети Интернет, а 49,5% – собственные веб-сайты. Однако внедрение сквозных цифровых технологий остаётся на относительно низком уровне. Так, искусственный интеллект использовали лишь 4,8% организаций, облачные сервисы – 19,5%. Эти данные свидетельствуют о том, что, несмотря на существенный рост базовой цифровой инфраструктуры, России предстоит решить задачу углублённой цифровой трансформации для укрепления конкурентоспособности территорий в глобальной экономике.

Международные организации разработали множество глобальных индексов и рейтингов цифровизации. Однако проблема заключается в отсутствии единого универсального подхода к интегральной оценке влияния цифровизации на конкурентоспособность территорий.

Изученность и проработанность темы

Теория конкурентоспособности представляет собой одну из наиболее разработанных областей экономической науки. Фундаментальный вклад в становление данной проблематики внёс Майкл Портер, которого по праву считают основоположником современной теории конкурентоспособности. Он сформулировал концепции «пяти сил», цепочки создания стоимости и национальной конкурентоспособности, определившие направления дальнейших исследований [1]. Существенное развитие идеи получили в трудах зарубежных учёных – А. Маршалла, И. Шумпетера, Ф. фон Хаека, Э. Чемберлина, П. Кругмана, М. Кастельса, Ф. Макканна, А. Лундвалла, а также в работах отечественных экономистов Р. И. Шнипера, А. Г. Гранберга, А. И. Татаркина, Г. Б. Клейнера и др., которые адаптировали теоретические подходы к условиям российской экономики [2-8].

Тема цифровизации территории исследуется в научных работах зарубежных ученых Н. Негрипонте, Д. Тапскотта, Н. Лейна, Э. Брайнджолфсона, Б. Кахина, Р. Бухта и Р. Хикса, М. Роуаз, Т. Мезенбурга, которые изучают особенности цифровой экономики [9-13]. Отечественные ученые и авторы А.В. Плотников, М.О. Едзаева рассматривают цифровизацию как технический процесс оцифровки [14,15]. Е.Д. Бутенко, Н.А. Малышко, В.Ю. Митусов определяют цифровизацию региона как экономический инструмент повышения эффективности [16,

17]. В.В. Загребин, А.Е. Коньков, К.В. Фролов определяют цифровизацию региона как глубокую социокультурную трансформацию [18,19]. По нашему мнению, цифровизация территории – комплексный критерий, включающий в себя передовые цифровые технологии, цифровые компетенции и кадры, цифровое государство и государственные услуги, цифровое деловое пространство, цифровую экономику, цифровую инфраструктуру, цифровую безопасность.

Методика исследования

Исследование построено на данных по Российской Федерации в девяти мировых индексах цифровизации (табл. 1) за период 2013-2023 гг.

Таблица 1

Краткая характеристика 9 мировых индексов цифровизации территории

Наименование индекса	Кем разработан	Когда разработан	Направление оценки
Индекс сетевой готовности (NRI)	Всемирный экономический форум	2002 г.	Направлен на оценку готовности стран использовать ИКТ
Рейтинг цифровой конкурентоспособности IMD (WDCR)	Международный институт развития менеджмента	2017 г.	Фокусируется на оценке способности стран адаптироваться и исследовать цифровые технологии для экономической трансформации
Индекс развития электронного правительства ООН (EGDI)	Департамент по экономическим и социальным вопросам ООН	2003 г.	Направлен на оценку готовности и способности стран использовать ИКТ при предоставлении услуг населению
Индекс электронного участия ООН (EPI)	Департамент по экономическим и социальным вопросам ООН	2003 г.	Оценивает уровень возможности использования ИКТ для получения государственной информации, услуг, а также уровень вовлеченности населения
Глобальный индекс кибербезопасности МСЭ (GCI)	Международный союз электросвязи	2014 г.	Оценивает способность и готовность стран противостоять киберугрозам
Индекс зрелости GovTech	Всемирный банк	2020 г.	Оценивает степень «зрелости» цифровых преобразований государственного сектора
Индекс развития электронной коммерции ЮНКТАД (UNCTAD B2C E-cI)	Конференция ООН по торговле и развитию	2015 г.	Направлен на оценку возможности стран вести электронную коммерцию, включая инфраструктуру для онлайн-покупок
Индекс развития ИКТ (IDI)	Международный союз связи	2007 г.	Оценивает степень достижений стран по ИКТ, а именно подключение в странах
Индекс глобальной связанности Huawei (GCI)	Компания Huawei	2015 г.	Направлен на оценку прогресса стран в области перехода на цифровые технологии

Источник: [20-28].

Необходимо отметить, что помимо представленных в табл. 1 индексов, в исследовании был использован Глобальный индекс инноваций (GII), который разработан Корнельским университетом, INSEAD и ВОИС в 2007 г. и направлен на оценку инновационного потенциала и результатов инновационной деятельности стран [29]. GII был выбран в качестве базового показателя в связи с более комплексным подходом к оценке конкурентоспособности территории в условиях цифровизации и в связи с более полной выборкой данных за 2013-2023 гг., что позволило сопоставить данные по составляющим, которые имели более ограниченную выборку по годам.

Методология исследования включает три этапа:

– анализ динамики показателей в каждом индексе и их компонентов;

– экономико-статистический анализ компонентов индексов цифровизации и итоговых баллов России по ним;

– экономико-статистический анализ отобранных компонентов цифровизации и показателей России по Глобальному индексу инноваций и построение регрессионной модели влияния составляющих цифровизации на конкурентоспособность территории.

Данные гармонизированы по шкале от 0 до 1 по формуле минимаксной нормализации (1).

$$i_n = \frac{i - i_{min}}{i_{max} - i_{min}}, \quad (1)$$

где i_n – нормализованный балл; i – пересчитываемый балл; i_{min} – минимальный балл; i_{max} – максимальный балл.

Результаты анализа

1 этап. Анализ временных рядов показывает разнонаправленную динамику позиций и оценок России в различных международных рейтингах, отражающую как успехи в цифровой трансформации, так и влияние внешних факторов.

Индекс сетевой готовности (NRI) демонстрирует устойчивый рост. В период с 2013 по 2016 гг. Россия поднялась с 54-го на 41-е место, увеличив балл с 4,13 до 4,5. После смены методологии в 2019 г. (шкала 1–100) тенденция сохранилась. Позиция улучшилась с 48-го (2019) до 43-го места (2021), а баллы выросли с 54,98 до 56,51 к 2023 г. Анализ составляющих выявил, что блоки «Технологии» и «Люди» к 2023 г. постепенно улучшали показатели, тогда как блок «Влияние» стал сдерживающим фактором с отрицательным ростом. Успех в технической и человеческой сферах сдерживается тем, что цифровизация пока не успевает трансформироваться в реальные экономические и социальные блага, создавая разрыв между наличием инструментов и их практической отдачей.

Рейтинг цифровой конкурентоспособности IMD показал положительную траекторию до 2020 г. с 42-го места (2017) до 38-го (2019), при росте баллов с 65,21 до 70,4. В 2020 г. произошел откат до 43-го места, на что большее влияние оказал фактор «Готовность к будущему», однако в 2021 г. страна восстановилась до 42-й позиции с баллом 72,36. Пандемия 2020 г. выявила недостаточную адаптацию бизнес-среды к долгосрочным технологическим вызовам, однако накопленный цифровой капитал позволил быстро восстановить прежние позиции.

Индекс развития электронного правительства ООН (EGDI) характеризуется волатильностью. После стабилизации на 27-м месте в 2012-2014 гг. в 2016 г. произошел спад до 35-го места. К 2018 г. ситуация улучшилась (32-е место, 0,80 балла), но в 2021 г. позиция вновь снизилась до 36-го места, что было связано с ухудшением показателя «Онлайн-сервисы», в то время как блоки «Телеком-инфраструктура» и «Человеческий капитал» оказывали компенсирующее влияние. К 2023 г. Россия вернулась на 33-е место с баллом 0,82. Колебания рейтинга отражают диспропорцию между мощной технической базой и качеством пользовательского опыта, где функциональность сервисов отстает от скорости развития инфраструктуры.

Индекс электронного участия ООН демонстрирует один из самых значимых успехов. Позиция страны выросла с 19-го места (2012) до 12-го (2022), а баллы увеличились с 0,66 до 0,97. Несмотря на временное снижение в 2020 г., к 2022 г. все составляющие («Е-информация», «Е-консультация», «Е-принятие решений») показали значительный рост, что стало драйвером

улучшения итогового результата. Системное внедрение цифровых платформ гражданского взаимодействия позволило компенсировать пандемийный спад и вывести Россию в число лидеров по вовлеченности граждан в цифровое управление.

Глобальный индекс кибербезопасности МСЭ (GCI) показывает впечатляющий прогресс. С 12-го места в 2014 г. (0,50 балла) Россия поднялась до 5-го места в 2020 г. (0,98 балла). В 2023 г., после изменения методологии, страна заняла 24-е место с 85,95 баллами. Улучшение до 2020 г. было обеспечено ростом по всем компонентам, особенно в сферах «Правовые меры», «Технические меры» и «Сотрудничество». Скоординированное развитие правового, технического и международного направлений кибербезопасности обеспечило лидерство, а пересмотр критериев оценки временно скорректировал видимую позицию страны.

Индекс зрелости GovTech Всемирного банка фиксирует положительный скачок. Россия перешла из группы B (высокий уровень, 0,71 балла в 2020 г.) в группу A (очень высокий уровень, 0,87 балла в 2022 г.). Это стало возможным благодаря резкому росту показателей «Предоставление государственных услуг» (с 0,65 до 0,82) и «Вовлечение граждан» (с 0,53 до 0,85). Следует отметить, что государство перестало быть просто администратором, превратившись в сервисную платформу, ориентированную на потребности пользователя.

Индекс развития электронной коммерции ЮНКТАД показал рост с 2015 по 2018 г. (с 43-го до 38-го места), после чего последовал спад до 43-го места в 2021 г. Основными причинами ухудшения стали снижение «Надежности почтовых услуг» и «Защищенных интернет-серверов», хотя доля интернет-пользователей продолжала расти. Отставание в рейтинге вызвано нехваткой критической логистической и информационной инфраструктуры, которая не успевает за взрывным ростом спроса на онлайн-торговлю, создавая «узкие места» в цепочках поставок и безопасности.

Индекс развития ИКТ (IDI) и Индекс глобальной связанности Huawei также демонстрировали положительную динамику. В IDI баллы росли с 6,70 до 7,07 при стабильных навыках и растущем доступе. В индексе Huawei баллы выросли с 37 до 53, а позиция улучшилась с 32-го до 24-го места, чему способствовало развитие облачных технологий и интернета вещей. Устойчивый рост подтверждает, что массовое распространение доступа к сети и внедрение передовых технологий связи создают прочный фундамент для дальнейшей цифровизации всех секторов экономики.

2 этап. Результаты экономико-статистического анализа взаимосвязей между отдельными компонентами индексов цифровизации и их итоговыми оценками представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экономико-статистического анализа взаимосвязей между отдельными компонентами индексов цифровизации и их итоговыми оценками

Индекс	Сильная связь (0,7-1,0)	Средняя связь (0,3-0,7)
NRI	«Люди» (0,827), «Технологии» (0,820), «Управление» (0,747), «Влияние» (0,817)	–
WDCR IMD	«Знания» (0,995), «Технологии» (0,998), «Готовность к будущему» (0,999)	–
EGDI	«Телеком-инфраструктура» (0,787) и «Онлайн-сервисы» (0,745)	«Человеческий капитал» (0,341)
EPI	«Е-консультация» (0,925), «Е-принятие решений» (0,902)	«Е-информация» (0,682)
GCI	«Правовые меры» (0,999), «Технические меры» (0,999), «Организационные меры» (0,999), «Развитие потенциала» (0,999), «Сотрудничество (0,999)	–

Окончание табл. 2

Индекс	Сильная связь (0,7-1,0)	Средняя связь (0,3-0,7)
UNCTAD B2C E-cI	«Защищенные интернет-серверы» (0,863), «Надежность почтовых услуг» (0,768), «Доля интернет-пользователей» (0,731)	«Доля населения с банковскими счетами» (0,646)
IDI	«Использование» (0,995), за ним следуют «Доступ» (0,933), «Навыки» (0,887)	–
GCI Huawei	«Широкополосный доступ» (0,953), «Облачные технологии» (0,973), «Интернет вещей» (0,970), Искусственный интеллект (0,958)	–

Источник: составлено автором.

В большинстве индексов (NRI, WDCR IMD, GCI, IDI, GCI Huawei) наблюдается сильная корреляционная связь всех компонентов, что свидетельствует о согласованности методологии, где все компоненты оказывают сильное влияние на итоговый результат.

В остальных индексах цифровизации такие компоненты, как «Человеческий капитал», «Е-информация», «Доля населения с банковскими счетами» оказывают значимое среднее влияние на итоговый результат России, в то время как ключевыми факторами успеха становятся инфраструктура, технологическая оснащенность, надежность систем и активность интернет-пользователей.

3 этап. Экономико-статистический анализ компонентов, которые были отобраны по результатам 2 этапа (исключены повторяющиеся путем отбора компонентов с наибольшими коэффициентами корреляции с итоговыми баллами России) и Глобального индекса инноваций позволил выявить 7 наиболее важных факторов цифровизации территорий, по которым коэффициент корреляции составил больше 0,70 (табл. 3).

Таблица 3

Экономико-статистический анализ факторов цифровизации и Глобального индекса инноваций

Факторы цифровизации, согласно мировым индексам	Условные обозначения	Коэффициент корреляции с Глобальным индексом инноваций
Технологии	X1	-0,853
Люди	X2	0,906
Управление	X3	-0,765
Влияние	X4	-0,779
Готовность к будущему	X5	-0,750
Инфраструктура	X6	-0,921
Кибербезопасность	X7	-0,844

Источник: составлено автором.

Сильная положительная связь наблюдается только для фактора «Люди» (0,906). Это свидетельствует о том, что развитие человеческого капитала, цифровых навыков и компетенций населения является ключевым драйвером конкурентоспособности страны в условиях цифровизации. Все остальные технологические и инфраструктурные компоненты («Технологии», «Управление», «Влияние», «Готовность к будущему», «Инфраструктура», «Кибербезопасность) в рамках данного анализа демонстрируют статистически значимую отрицательную

связь с Глобальным индексом инноваций. Это говорит о том, что простое наращивание технологической базы без развития человеческого капитала и повышения эффективности использования цифровых инструментов может не приводить к повышению конкурентоспособности, а в некоторых случаях – сопровождаться её отставанием.

На основе отобранных компонентов цифровизации (табл. 2) было построено уравнение регрессии уровня конкурентоспособности территории в условиях цифровизации (2).

$$УКТ = -0{,}14 + 0{,}22X_1 + 0{,}82X_2 + 4{,}79X_3 - 8{,}94X_4 + 4{,}41X_5 - 0{,}59X_6 + 0{,}58X_7. \quad (2)$$

R2 регрессионной модели составил 0,940, что означает, что 94 % вариации Глобального индекса инноваций объясняется выбранными цифровыми переменными. F-значимость модели регрессии равна 0,073, что больше порога 0,05, но меньше 0,10, следовательно, модель можно считать статистически значимой на уровне 0,10.

Наибольшую силу влияния демонстрируют факторы: «Влияние» (-8,94), «Управление» (4,79) и «Готовность к будущему» (4,41). Это указывает на необходимость особого внимания к данным компонентам при разработке стратегий управления конкурентоспособностью территории. При этом отрицательное значение фактора «Влияние» (-8,94) свидетельствует о том, что его дисбаланс способен серьёзно подавлять остальные компоненты.

Умеренное влияние демонстрируют компоненты «Люди» (0,82) и «Кибербезопасность» (0,58). Эти компоненты не являются ведущими составляющими, но их игнорирование снизит эффективность цифровизации. «Люди» отражают необходимость в цифровых навыках и кадрах, так как без них сильное управление не реализуется. «Кибербезопасность» обеспечивает доверие к цифровой среде и работает как «защитный барьер». Её недостаток критичен, но избыток без развития других факторов не дает преимущества. Данные компоненты требуют системного, а не экстренного внимания.

«Технологии» (0,22) имеют слабое влияние, так как стали стандартным товаром. Наличие технологий не создает конкурентных преимуществ без поддержки управления и человеческого капитала. «Инфраструктура» показывает отрицательный коэффициент (-0,59), что указывает на возможную контрпродуктивность избыточных вложений.

Построенная регрессионная модель подтверждает гипотезу о том, что совокупность цифровых компонентов в значительной степени объясняет вариацию конкурентоспособности территории (на примере Глобального индекса инноваций). Ввиду неполной сформированности статистической базы цифровизации и высокой волатильности данных полученные результаты носят предварительный характер и требуют дальнейшего уточнения по мере накопления наблюдений.

Заключение

Проведенное исследование позволяет обосновать следующие выводы.

Обнаруженный в работе дисбаланс между технологической готовностью и реальным влиянием цифровизации свидетельствует о том, что Россия сталкивается с эффектом убывающей отдачи от цифровизации. Дальнейшее наращивание инфраструктуры перестает давать отдачу без глубинной трансформации управленческих практик и моделей поведения людей. Это требует пересмотра традиционных подходов к оценке успешности цифровой политики.

На основе полученных результатов рекомендуется переориентировать политику цифровизации с технологий на человеческий капитал, создать систему мониторинга реального социально-экономического влияния цифровых внедрений, стимулировать глубокое использование ИИ и облачных сервисов организациями, повышать качество онлайн-сервисов и пользовательского опыта, а также устранить узкие места в логистической инфраструктуре электронной коммерции. Особое внимание следует уделить управленческой готовности к будущему, избегая избыточных вложений в инфраструктуру без гарантий их эффективной отдачи, и одновременно унифицировать статистическую базу цифровизации для повышения точности управленческих решений.

Список литературы

1. Портер, М. Конкуренция / М. Портер; Пер. с англ. – Москва : Издат. Дом «Вильямс», 2005. – 608 с.

2. Шумпетер, Й. А. Теория экономического развития / Й. А. Шумпетер. – Москва : Прогресс, 1982. – 455 с.

3. Сафина, Э. Р. Взаимосвязь глобальных индексов конкурентоспособности: экономико-статистический анализ / Э. Р. Сафина, М. Р. Сафиуллин // Электронный экономический вестник Татарстана. – 2025. Т. 3. – С. 4–12.

4. Krugman, Paul, 1997, Pop Internationalism, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England.

5. Кастельс, М. Информационная Эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс. – Москва: ЭШ, 2000.

6. Гранберг, А. Г. Региональное развитие: опыт России и Европейского Союза / А. Г. Гранберг. – Москва, 2000.

7. Татаркин, А. И. Повышение конкурентоспособности посредством реализации инновационной модели развития регионов / А. И. Татаркин // Вестник ЧелГУ. – 2015. – №5. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-konkurentosposobnosti-posredstvom-realizatsii-innovatsionnoy-modeli-razvitiya-regionov (дата обращения: 28.05.2026).

8. Клейнер, Г. Б. Системная парадигма и системный менеджмент / Г. Б. Клейнер. – Текст: непосредственный // Российский журнал менеджмента. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 27–50.

9. Negroponte N. Being Digital. – N-Y.: Knopf, 1995.

10. Tapscott, D., The Digital Economy: Promise and Peril In The Age of Networked Intelligence, McGraw-Hill, 1995. – 342 p.

11. Lane, N. Advancingthe Digital Economyintothe 21st Century. Information Systems Frontiers 1, 317-320 (1999).

12. Бухт, Р. Определение, концепция и измерение цифровой экономики / Р. Бухт, Р. Хикс // Вестник международных организаций. – 2018. – Т. 13, № 2. – С. 143–172.

13. Mesenbourg T.L. (2001) Measuring the Digital Economy, US Bureau of the Census, Suitland. Available [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https: //www.census .gov/content/dam/Census/library/working-papers/2001/econ/umdigital.pdf.

14. Едзаева, М. О. Цифровизация избирательного процесса / М. О. Едзаева, А. П. Чижик // Студенческая молодежь XXI века: наука, творчество, карьера, цифровизация : Сборник материалов межвузовской студенческой научно-практической интернет-конференции, Москва, 26 мая 2020 года / Под общей редакцией В.И. Семеновой, под научной редакцией Л.Н. Горбуновой. – Москва: Негосударственное образовательное частное учреждение высшего образования «Московский экономический институт», 2020. – С. 204-209.

15. Плотников, В. А. Цифровизация производства: теоретическая сущность и перспективы раз вития в российской экономике / В. А. Плотников // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2018. – № 4 (112). – С. 16-24.

16. Бутенко, Е. Д. Цифровизация регионов как часть цифровизации страны / Е. Д. Бутенко // Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС. – 2022. – Т. 13, № 5(57). – С. 19-25.

17. Малышко, Н. А. Бизнес в условиях цифровизации / Н. А. Малышко, Т. М. Самсонова // Государство и бизнес в условиях глобализации и цифровой трансформации : Сборник статей студентов бакалавриата и магистратуры / Под редакцией И.В. Федосеева, Н.В. Васильевой. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2019. – С. 99-102.

18. Загребин, В. В. Процесс цифровизации в условиях глобальной неопределённости / В. В. Загребин, Е. А. Серова // Возможности и угрозы цифрового общества : Материалы конференции Всероссийской научно-практической конференции, Ярославль, 22 апреля 2020 года

/ Под редакцией А.В. Соколова, А.А. Фролова. – Ярославль : Общество с ограниченной ответственностью «Цифровая типография», 2020. – С. 79-84.

19. Фролов, К. В. Понятие, сущность цифровизации и цифровой трансформации на основе фундаментальных и прикладных аспектов системно-кибернетической теории / К. В. Фролов, А. В. Бабкин, А. К. Фролов // š-Economy. – 2024. – № 17 (1). – С. 7–26. – URL: https://doi.org/10.18721/JE.17101

20. Индекс сетевой готовности. Режим доступа: https://gtmarket.ru/ratings/networked-readiness-index

21. Рейтинг цифровой конкурентоспособности IMD (WDCR). Режим доступа: https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/

22. Индекс развития электронного правительства ООН (EGDI). Режим доступа: https://gtmarket.ru/ratings/e-government-development-index

23. Индекс электронного участия ООН (EPI). Режим доступа: https://desapublications.un.org/sites/default/files/publications/2025-01/E-Government%20Survey%202024%20RUS-compressed.pdf

24. Глобальный индекс кибербезопасности МСЭ (GCI). Режим доступа: https://statbase.ru/datasets/indexes-and-ratings/global-cybersecurity-index/

25. Индекс зрелости GovTech Всемирного банка. Режим доступа: https://www.worldbank.org/en/programs/govtech/2022-gtmi

26. Индекс развития электронной коммерции ЮНКТАД. Режим доступа: https://unctad.org/system/files/non-official-document/wgecde2024_p01_unctad.pdf

27. Индекс развития ИКТ (IDI). Режим доступа: https://gtmarket.ru/ratings/ict-development-index

28. Индекс глобальной связанности Huawei (GCI). Режим доступа: https://www.huawei.com/minisite/gci/en/

29. Global Innovation Index 2013–2024 / WIPO. – Geneva: World Intellectual Property Organization, 2013–2024.

УДК 004

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМЕННОЙ МОДЕЛИ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Суворкина А.А., студент;
E-mail: aasuvorkina@gmail.com;
Бурнашев Р.А., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой анализа данных и технологий программирования Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1057-0328;
E-mail: r.burnashev@inbox.ru

DESIGN OF A HYBRID GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR DATA ANALYSIS BASED ON A TRANSFORMER VECTOR REPRESENTATION MODEL

Suvorkina A.A., student;
E-mail: aasuvorkina@gmail.com;
Burnashev R.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Data Analysis and Programming Technologies, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-1057-0328;
E-mail: r.burnashev@inbox.ru

Аннотация

В работе представлена гибридная геоинформационная система для интеллектуального поиска промышленного оборудования и анализа предприятий с использованием трансформерных моделей векторного представления текста (Sentence-BERT). Основная задача заключалась в преобразовании нечётких описательных запросов на естественном языке в ранжированный список объектов без использования точных наименований техники. Данные извлекаются из графовой базы данных с заранее заданным индексом Neo4j. Результаты агрегируются и визуализируются на интерактивной карте. Помимо этого, система пересчитывает оценку пригодности предприятия под запрос с учётом заданных пользователем критериев доступности месторасположения и стоимости объекта. Она также находит похожие предприятия на основе общих категорий оборудования и решаемых производственных задач. Значимость такого подхода заключается в возможности преобразования нечёткого запроса в конкретный список предприятий с подходящим оборудованием. Персонализации выданных результатов и их интерактивная визуализация отличают наш программный комплект от других систем принятия решений. Результаты экспериментального тестирования прототипа на базе данных из 38 предприятий и более 80 единиц оборудования показали стабильную дискриминирующую способность модели. Семантический поиск успешно идентифицировал нужные предприятия по запросам без конкретных названий оборудования, тогда как классическое строковое сопоставление возвращало нулевой результат. Этот подход обеспечивает высокую степень персонализации результатов и наглядную геовизуализацию объектов и их связей.

Ключевые слова: геоинформационные системы, граф знаний, семантический поиск, векторные эмбеддинги, Sentence-BERT, Neo4j

Abstract

This paper presents a hybrid geographic information system for intellectual search of industrial equipment and enterprise analytics utilizing transformer-based text vector representation models (Sentence-BERT). The primary objective is to convert vague natural language descriptive queries into a ranked list of facilities without using exact equipment nomenclature. Data is retrieved from a graph database utilizing a pre-configured Neo4j index. Search results are aggregated and visualized on an interactive map. Furthermore, the system recalculates the enterprise suitability score relative to the user query, incorporating user-defined location accessibility and cost criteria. It also identifies similar enterprises based on shared equipment categories and target manufacturing tasks. The significance of this approach lies in its capability to transform a vague request into a concrete list of enterprises equipped with appropriate machinery. Result personalization and interactive visualization distinguish this software suite from conventional decision-support systems. Experimental prototype testing on a dataset comprising 38 enterprises and over 80 units of equipment demonstrated stable model discriminative capability. Semantic search successfully identified relevant enterprises for queries lacking specific equipment names, whereas traditional string matching yielded zero results. This approach ensures a high degree of result personalization and dynamic spatial visualization of objects and their interrelations.

Keywords: geographic information systems, knowledge graph, semantic search, vector embeddings, Sentence-BERT, Neo4j

Введение

В научной сфере и промышленности часто возникает необходимость в конкретном оборудовании, однако исследователь может не знать его формального названия. Например, пользователю нужна лаборатория с токарным станком ЧПУ. У него также могут быть требования по расположению объекта и по его цене. Стандартные и специализированные ГИС-системы (QGIS, NextGIS, ArcGIS) демонстрируют предприятия точками на карте, но не отображают информацию о наличии необходимого оборудования и не имеют алгоритмов подбора техники

по смыслу. B2B-реестры и государственные порталы – обыкновенные хранители информации, и для того, чтобы найти в них нужное оборудование, нужно знать его точное наименование. Адреса также выдаются списком без анализа логистики и взаимного расположения. Обычные системы поддержки принятия решений в такой ситуации не очень удобны в использовании, так как не визуализируют результаты поиска.

Так как формулировка запроса в большинстве случаев не точная, наиболее предпочтительным вариантом решения такой проблемы будет имплементация в систему семантического поиска. Текст в нем представлен в виде векторов. Трансформенные модели эмбеддингов (Sentence-BERT и его развития) [1] отображают произвольное текстовое описание в точку многомерного пространства таким образом, что смысловая близость двух фраз выражается через косинусное сходство между их векторами. Этот подход позволяет наиболее точно находить сходства между запросом на естественном языке и описанием оборудования, даже если формулировка не совпадает совсем.

Цель работы – разработка прототипа десктопного приложения на C++, реализующего функции экспертной системы отбора предприятий с нужным оснащением; подключение в него модулей визуализации объектов на карте и учёта пользовательских предпочтений. В рамках работы решаются задачи:

– проектирование графа знаний, связывающего предприятия, оборудование, категории и производственные задачи;

– реализация модуля семантического поиска оборудования по текстовому запросу на основе векторного индекса;

– разработка алгоритма агрегации результатов поиска по предприятиям и расчёта итоговой оценки пригодности методом линейной свёртки критериев;

– реализация интерактивной геовизуализации результатов [2], включая отображение связей между похожими предприятиями;

– оценка работоспособности системы на запросах и сравнение её с подходом на основе строкового сопоставления.

Существующие решения задействуют в основном простое строковое сопоставление, а предлагаемое ищет по смыслу запроса, используя графовую модель вместо реляционной. Пользователь может найти оборудование и логически связанные с ним предприятия, благодаря сущностям категории оборудования и его назначения в базе данных. Научная новизна работы состоит в интеграции трансформенного векторного поиска, графа знаний и ранжировании объектов по предпочтениям пользователя в систему подбора промышленного оборудования. В реализации механизма также разработан поиск похожих предприятий на основе структуры графа, он не требует дополнительного текстового описания или повторного семантического сопоставления.

Обзор методов

NLP-методы (Word2Vec, GloVe, sentence-transformers). Задача, описанная ранее, требует использования семантического информационного поиска. Раньше подходы к ее решению основывались на редакционном расстоянии Левенштейна, но они эффективны по большей части при поиске с опечатками и незначительными вариациями написания. Они не способны выявить смысловую близость между лексемами.

TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency, «частота термина – обратная частота документа») – статистика, определяющая частоту слова в тексте. Методы на ее основе ищут по ключевым словам, но зависят от точного их совпадения и не учитывают синонимы.

Модели *Word2Vec, GloVe* [3] работают с отдельными словами, создают из них векторы. При сравнении этих векторов можно определить семантическую близость лексем. Но в такой ситуации, когда обрабатывается многословное описание техники, вектор фразы строится как усреднение векторов каждого из слов, совсем не учитывая контекст.

В разработанной системе использована BERT-подобная модель sentence-transformers paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2. Она преобразует целое предложение в вектор фиксированной размерности 384, анализируя его двунаправленно. Через слои трансформера с механизмом самовнимания модель определяет, как каждое слово связано с другими. Она обучена по методу контрастного обучения [4], и больше подходит в работе с запросами на русском языке. Степень семантической близости запроса $\vec{q}$ и описания оборудования $\vec{e}$ вычисляется через косинусное сходство:

$$sim(\vec{q}, \vec{e}) = \frac{\vec{q} \cdot \vec{e}}{||\vec{q}|| * ||\vec{e}||}.$$

Результат сравнения инвариантен к длине вектора и принимает значения из отрезка [−1;1], где значение близкое к 1 соответствует высокой семантической близости.

Таблица 1

Сравнительная таблица

Метод	Назначение	Недостаток
Расстояние Левенштейна	Ищет опечатки, морфологические вариации	Не работает с синонимами, описательными запросами
TF-IDF	Работа с документами с теми же ключевыми словами	Не определяет семантически близкие, но лексически разные тексты
Word2Vec / GloVe	Образование векторов и поиск семантически близких слов	Не понимает смысл длинных составных описаний
Sentence-transformers	Образование эмбеддинг векторов из предложений и поиск ближайших на любом языке	Не находит редкие специализированные термины без аналогов

Графовые базы данных и граф знаний. Неудобность реляционных баз данных в решении данной проблемы состоит в хранении данных в таблице. Чтобы найти, например, «предприятие со станками для металлообработки» нужно сделать несколько JOIN-запросов между таблицами enterprises, equipment, categories. При трёх-четырёх уровнях связей это становится медленным и громоздким, поэтому была выбрана графовая база данных. В настоящей работе используется система управления базами данных (СУБД) Neo4j [5] с языком запросов Cypher. Граф знаний системы включает четыре типа узлов: *Enterprise* (предприятие), *Equipment* (оборудование), *Category* (отраслевая категория), *Task* (тип производственной задачи) – связанных ребрами *HAS_EQUIPMENT*, *BELONGS_TO* и *SUITABLE_FOR*. При обходе такого графа производится поиск предприятий со схожей производственной специализацией. Для примера ниже представлен запрос выявления предприятий с общими категориями оборудования:

```
MATCH (e1:Enterprise {name: $name})-[:HAS_EQUIPMENT]->
  (:Equipment)-[:BELONGS_TO]->(c:Category)
  <-[:BELONGS_TO]-(:Equipment)<-[:HAS_EQUIPMENT]-(e2:Enterprise)
  WHERE e1 <> e2
  RETURN e2, count(DISTINCT c) AS shared_categories
  ORDER BY shared_categories DESC
  LIMIT 5
```

Архитектура системы

Трехслойная схема. Система разделена на три независимых друг от друга слоя и имеет клиент-серверную архитектуру. Пользователь работает в десктопном приложении, разрабо-

танном на языке C++ с помощью кросс-платформенного фреймворка Qt [6]. Серверный же слой представляет собой REST API-хост на основе фреймворка FastAPI языка программирования Python. Слой хранения данных, как указано ранее, реализован на графовой СУБД Neo4j. Взаимодействуют клиентский и серверный слой посредством HTTP-запросов. Для этого в Qt используется компонент QNetworkAccessManager. Обращение к базе данных происходит через официальный Python-драйвер.

На сервере есть четыре эндпоинта:

– POST /search – основной поиск предприятий по запросу;

– GET /search/equipment – поиск отдельных единиц оборудования;

– GET /similar/{name} – поиск предприятий со схожей специализацией через обход графа;

– GET /api/database/all – получение всех предприятий для вкладки базы данных.

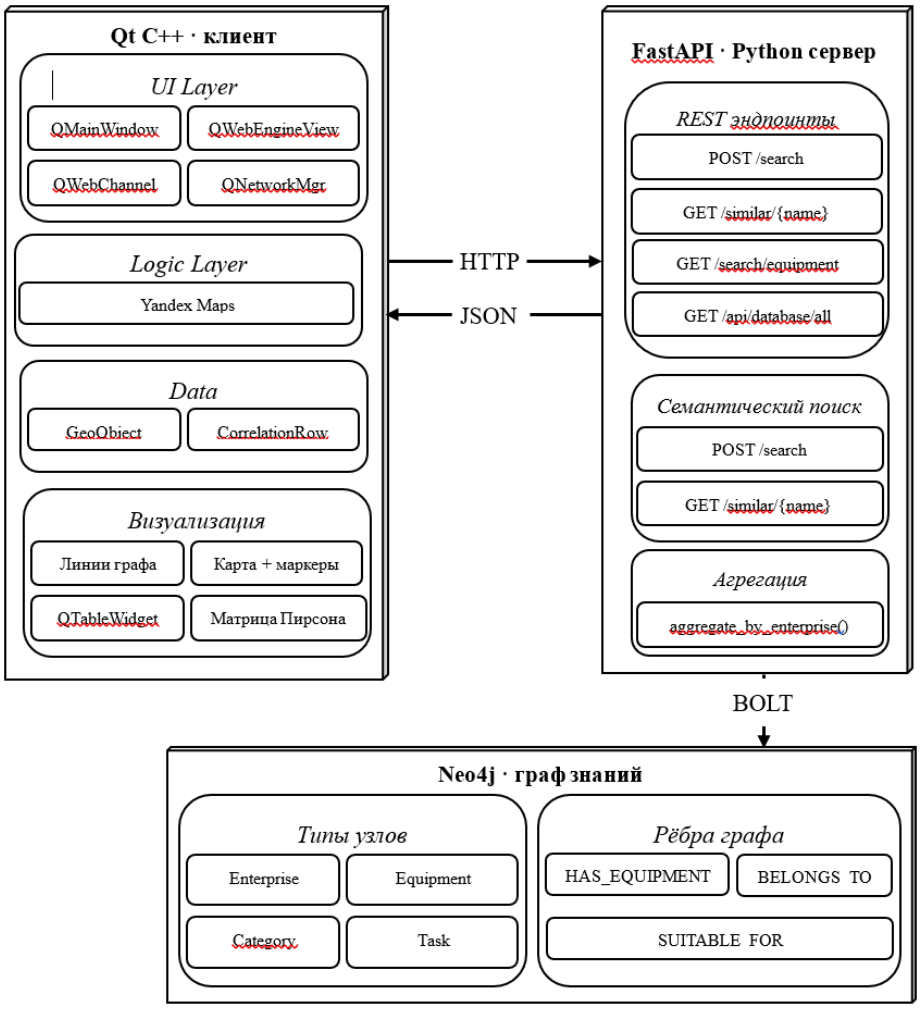


Рис. 1. Архитектурная схема

Структура графа знаний. Граф знаний системы имеет 4 типа узлов: Enterprise (предприятия) хранят атрибуты самого объекта: название, географические координаты, нормализованные значения доступности и стоимости; Equipment (оборудование) содержат наименование единицы оборудования, текстовое описание и предварительно вычисленный вектор эмбеддинга размерностью 384; Category (категория оборудования) сообщает отраслевую категорию оборудования (например, «Металлообработка», «Аддитивное производство», «Нанотехнологии»); Task (функция) конкретный тип производственной задачи («Токарная обработка», «3D-печать металлом»).

Структура связей следующая: ребро HAS_EQUIPMENT соединяет предприятие с его оборудованием; ребро BELONGS_TO соединяет единицу оборудования с её отраслевой категорией; ребро SUITABLE_FOR соединяет оборудование с типами задач, которые оно выполняет. База данных содержит 38 предприятий, охватывающих 8 отраслевых категорий и более 80 единиц оборудования. Векторный поиск обеспечивается индексом equipment_embeddings типа VECTOR, построенным на свойстве embedding узлов Equipment:

```
CREATE VECTOR INDEX equipment_embeddings
FOR (e:Equipment) ON e.embedding
OPTIONS {indexConfig: {
  `vector.dimensions`: 384,
  `vector.similarity_function`: 'cosine'
}}
```

На рис. 3 представлен фрагмент реальной подграфовой структуры, визуализированный в среде СУБД Neo4j.

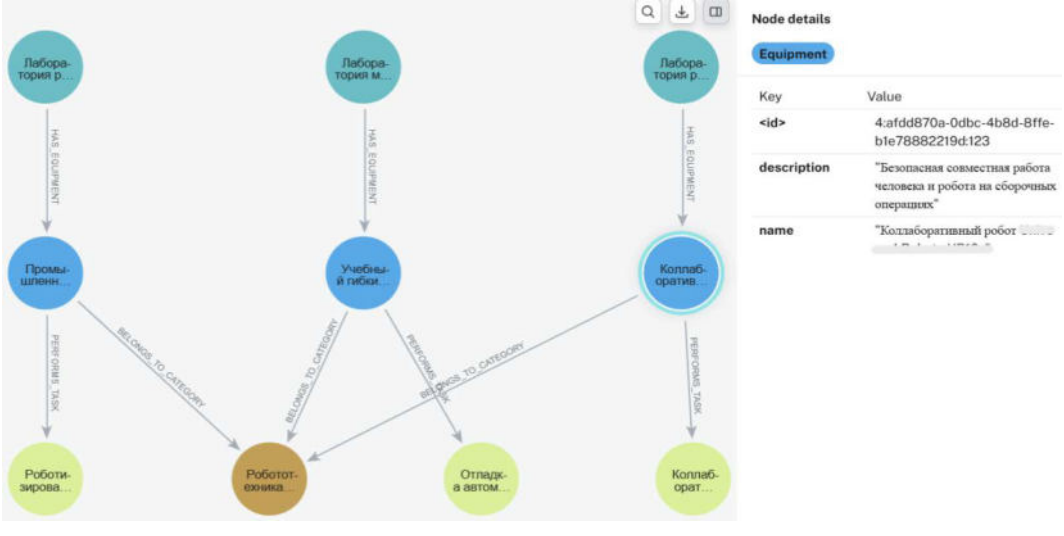


Рис. 2. Фрагмент подграфа знаний

Модель данных. Данные о местоположении, стоимости, доступности и вычисленных показателях семантического сходства и пригодности объектов хранятся на стороне клиентского приложения в специализированной C++ структуре. Поле *similarity* (схожесть) хранит значение семантического сходства, возвращенное сервером по результатам векторного поиска. Поле *suitability* (пригодность) вычисляется на стороне клиентского слоя на основе *similarity* (схожесть), *accessibility* (доступность) и *cost* (цена) с учётом пользовательских предпочтений. Данные возвращаются в формате JSON. Поле *matched_equipment* (схожее оборудование) содержит перечень конкретных единиц оборудования, которые семантически совпали с запросом.

Методы реализации

Семантический векторный поиск. При загрузке данных каждая единица оборудования представляется конкатенацией его наименования и текстового описания, которая преобразуется в вектор $\vec{e} = \mathbb{R}^{384}$. Модель sentence-transformers токенизирует и присваивает каждому слову или подслову числовой ID, и на первом слое текст преобразуется в числовой вектор. Полученные значения сохраняются как атрибуты узлов в базе данных и индексируются через векторный индекс типа VECTOR с мерой косинусного сходства [7]. При каждом обращении пользователя текстовый запрос q преобразуется той же моделью в вектор $\vec{q} = \mathbb{R}^{384}$, и затем вычисляется семантическое сходство запроса с описанием. СУБД возвращает k ближайших узлов Equipment по данной мере. Итоговый показатель семантического сходства предприятия P определяется как максимум по всем его единицам оборудования:

$$score(P) = \max_{e \in Equipment(P)} sim(\vec{q}, \vec{e}).$$

Максимум вместо среднего был выбран по смыслу задачи. Если хотя бы одна единица оборудования точно соответствует запросу, предприятие релевантно, независимо от наличия другого оборудования иного профиля.

Многокритериальная оценка пригодности. Score (показатель схожести) от векторного поиска – это только одно из трех слагаемых итоговой оценки. Уже после вычисления смыслового сходства запроса и оборудования предприятий запрос корректируется по дополнительным параметрам: транспортная доступность объекта и его стоимость. Пользователь желаемые значения $a^* \in [0; 1]$ и $c^* \in [0; 1]$ через слайдеры.

Мера соответствия предприятия по каждому из дополнительных критериев определяется как расстояние между нормализованным фактическим значением и желаемым. Если оно равно 1, то критерий полностью совпадает, а если равно 0, то расхождение между желаемым значением и действительным максимально. Итоговая пригодность предприятия P вычисляется как взвешенная линейная комбинация трёх критериев:

$$suitability = 0.4 \cdot \frac{s}{100} + 0.3\left(1 - \left|\frac{a}{100} - a^*\right|\right) + 0.3\left(1 - \left|\frac{c}{100} - c^*\right|\right).$$

Более высокий вес семантического критерия отражает его приоритет. Соответствие оборудованию конечно важнее географических и экономических критериев, но оно не подавляет их полностью. Значение suitability $\in [0;1]$ определяет цвет точки на карте. Suitability ≥ 0.75 – зеленый, suitability ≥ 0.50 – желтый, suitability ≥ 0.25 – оранжевый, иначе окрашивается в красный.

Геовизуализация. Результаты поиска визуализируются на интерактивной карте [8], реализованной через компонент QWebEngineView. В программный комплекс встроен HTML-файл, использующий Yandex Maps API. Передача данных из C++ в JavaScript осуществляется двумя способами. Для массовой отправки маркеров используется метод runJavaScript(), где предприятию соответствует вызов функции добавления точки на карту, и цвет маркера определяется значением suitability по формуле:

$$R(y) = \begin{cases} 255, & y < 0.5 \\ 255 \cdot \left(1 - \frac{y-0.5}{0.5}\right), & y \geq 0.5 \end{cases} \qquad G(y) = \begin{cases} 255 \cdot \frac{y}{0.5}, & y < 0.5 \\ 255, & y \geq 0.5 \end{cases}$$

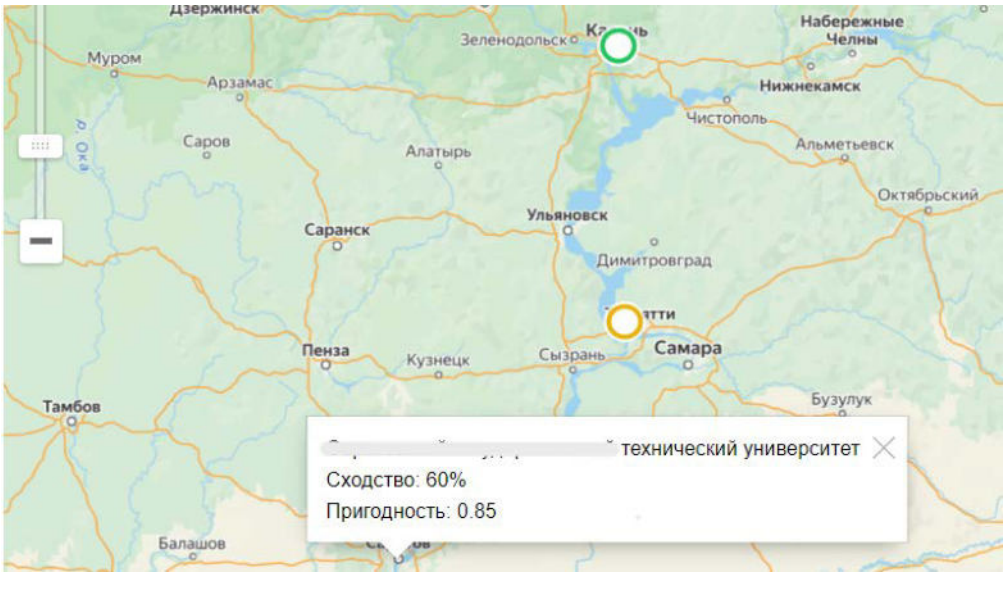


Рис. 3. Карта с проранжированными объектами

Для обратной связи от JavaScript к C++ при клике на точку на карте используется механизм QWebChannel. После клика на объект инициализируется асинхронный вызов C++ контроллера, который формирует запрос к эндпоинту *GET /similar/{name}* (вычисление структурного подобия).

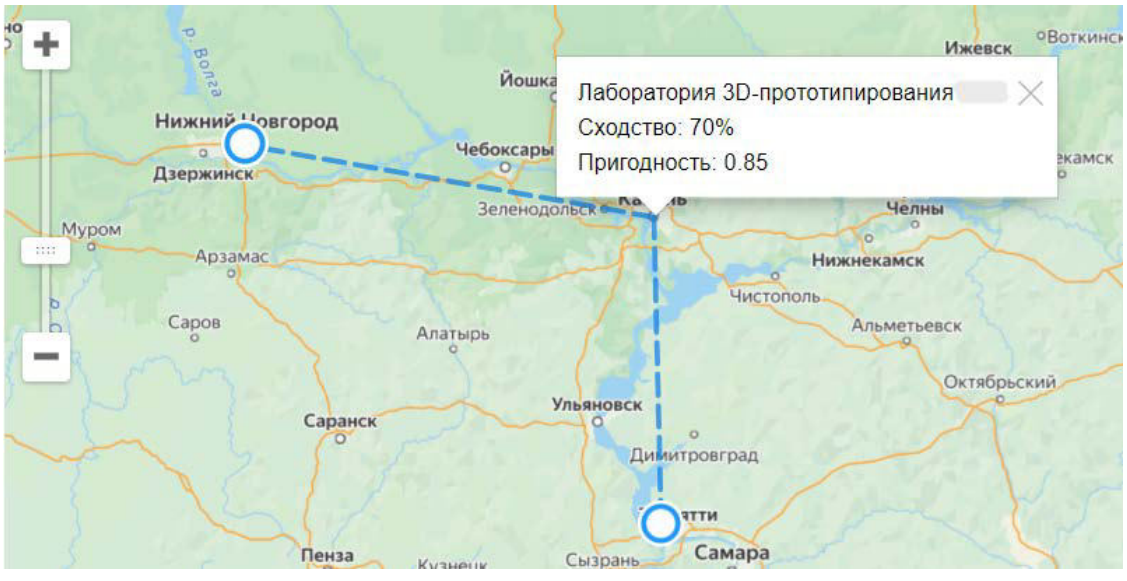


Рис. 4. Карта с прорисованными связями

Матрица корреляции. Для аналитической интерпретации результатов в системе реализован модуль вычисления матрицы корреляции по четырем имеющимся переменным. Коэффициент линейной связи между переменными X и Y вычисляется по формуле Пирсона:

$$r_{XY} = \frac{n\Sigma x_i y_i - \Sigma x_i \Sigma y_i}{\sqrt{(n\Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2)(n\Sigma y_i^2 - (\Sigma y_i)^2)}}$$

Матрица пересчитывается при каждом изменении параметров поиска. В данном случае матрица выступает индикатором конфигурации модели. Знак и величина r(similarity, suitability) показывают насколько семантическое свойство определяет итоговое ранжирование при данном запросе.

Результаты работы

Тестирование системы проводилось на базе данных из 38 предприятий, охватывающих 8 отраслевых категорий: металлообработка, аддитивное производство, сварочные технологии, нанотехнологии, аэрокосмические испытания, электроника, материаловедение и химические технологии. В графе более 80 узлов оборудования с наименованиями и текстовыми описаниями. Параметры доступности и стоимости – генеративные данные, определенные на основе открытых об инфраструктуре регионов. Для оценки качества семантического поиска были выполнены тестовые запросы, охватывающие различные отраслевые категории базы данных. Во всех случаях первый результат принадлежал предприятию, которое специализируется в этой категории. Так, запрос «нанопокрытия вакуумное осаждение» не содержит в себе названия никакого оборудования, но система корректно определила релевантное предприятие категории «Нанотехнологии». Диапазон значений score составил [0.68; 0.86], что свидетельствует о стабильной дискриминирующей способности модели на данной выборке. В таблице 2 представлены результаты вычислений при различных запросах (при accessibility=50 и cost=50).

Таблица 2

Результаты семантического поиска

Запрос	Категория топ-1 результата	Score	Suitability
Токарный станок ЧПУ	Металлообработка	0.87	0.80
3D-печать металлом	Аддитивное производство	0.79	0.83
Сварка крупных конструкций	Сварочные технологии	0.74	0.87
Электроника пайка плат	Электроника	0.77	0.85

Сравнение подходов к поиску. Для демонстрации преимущества семантического подхода поведено сравнение на запросах, не содержащих точных наименований техники. В базе данных не содержится точных словосочетаний из запросов, поэтому строковый поиск не показал хороших результатов. Найдена только одна единица оборудования из одного запроса. Семантический поиск во всех трех случаях вернул релевантные предприятия нужной отраслевой категории.

Таблица 3

Сравнение со строковым поиском

Запрос	Строковый поиск	Семантический поиск
Оборудование для обработки авиадеталей	0 результатов	предприятие категории «Металлообработка» (0.75)
Измерение поверхности с нанометровой точностью	0 результатов	предприятие категории «Нанотехнологии» (0.85)
Испытания механических свойств материалов	1 результат	предприятие категории «Испытания материалов» (0.87)

Заключение

Тестирование подтвердило, что семантический поиск корректно обрабатывает запросы на естественном языке. Требования пользователей не всегда точно совпадают с имеющимся материалом, значит строковый поиск возвращает нулевой результат. Механизм обхода графа выявляет предприятия со схожей специализацией, поэтому не требуется повторное семантическое сопоставление, а многокритериальная агрегация позволяет еще больше персонализировать ранжирование. Но данная реализация также имеет ряд ограничений.

– База данных содержит синтетические значения доступности и стоимости. Их замена на верифицированные данные из открытых источников сможет сделать систему практически применимой;

– Веса критериев в формуле пригодности заданы эмпирически. В будущем можно будет собрать обратную связь пользователей и откалибровать их. Также возможно задействовать методы обучения с подкреплением для автоматического подбора весов;

– Непосредственная близость объекта к пользователю не вычисляется, что можно исправить, применив формулу Хаверсина;

– Граф знаний возможно расширить за счет информации о партнерских связях между предприятиями и истории выполненных заказов.

Список литературы

1. Орловский, К. А. Сравнительный анализ алгоритмов классификации текстов: от классических моделей к трансформерам / К. А. Орловский // Вестник науки. – 2025. – №5 (86). –

URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-algoritmov-klassifikatsii-tekstov-ot-klassicheskih-modeley-k-transformeram (дата обращения: 26.08.2026).

2. Бурнашев, Р. А. Интеллектуальная геоинформационная система для диалектологических исследований / Р. А. Бурнашев, А. Р. Гатиатуллин // Kazan digital week – 2024 : сборник материалов Международного форума, Казань, 09–11 сентября 2024 года. – Казань: Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2024. – С. 972-979.

3. Жаксыбаев, Д. О. Алгоритмы обработки естественного языка для понимания семантики текста / Д. О. Жаксыбаев, Г. Н. Мизамова // Труды ИСП РАН. 2022. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritmy-obrabotki-estestvennogo-yazyka-dlya-ponimaniya-semantiki-teksta (дата обращения: 26.08.2026).

4. Gao, T. SimCSE: Simple Contrastive Learning of Sentence Embeddings / T. Gao, X. Yao, D. Chen // Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). – 2021. – P. 6894–6910.

5. Neo4j Documentation : [сайт]. – URL: https://neo4j.com/docs/ (дата обращения: 26.08.2026).

6. Qt Documentation : [сайт]. – URL: https://doc.qt.io/ (дата обращения: 26.08.2026).

7. Валиев, А. И. Применение методов машинного обучения для автоматизации процесса анализа содержания текста / А. И. Валиев, С. А. Лысенкова. – Текст : непосредственный // Вестник кибернетики. – 2021. – № 4 (44). – С. 12–15. – DOI: 10.34822/1999-7604-2021-4-12-15.

8. Бурнашев, Р. А. Проектирование динамической экспертной системы по анализу влияния климатических воздействий на малые и средние предприятия / Р. А. Бурнашев, Я. В. Сергеев // Электронные библиотеки. – 2025. – Т. 28, № 5. – С. 1015-1035. – DOI 10.26907/1562-5419-2025-28-5-1015-1035.

УДК 004.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕСТИРОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ЭМБЕДДИНГОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗАМЕТОК В ДЕСКТОПНОМ ПРИЛОЖЕНИИ

Фирсова Е.Д., студент;
ORCID: 0009-0003-8785-9773;
Наурусова Г.А., заместитель декана факультета «Робототехника и инновационная инженерия» ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия;
Фирсова Н.В., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой машиностроения, энергетики и транспорта Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ОГУ, г. Орск, Россия;
ORCID: 0009-0006-9785-9349

COMPARATIVE ANALYSIS AND TESTING OF OPEN EMBEDDING MODELS FOR NOTE PROCESSING IN A DESKTOP APPLICATION

Firsova E.D., student;
ORCID: 0009-0003-8785-9773;
Naurusova G.A., Deputy Dean of the Faculty of Robotics and Innovative Engineering FSBEI HE Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, Russia;
Firsova N.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering, Energy and Transport, Orsk Humanitarian and Technological Institute (branch) of Orenburg State University, Orsk, Russia;
ORCID: 0009-0006-9785-9349

Аннотация

В работе рассматривается задача выбора эмбеддинговой модели для встраивания в десктопное приложение ведения заметок. Приложение должно обеспечивать автоматическую категоризацию, поиск дубликатов, оценку актуальности и извлечение дедлайнов из коротких русскоязычных текстов. Ключевым требованием является локальный запуск модели без передачи данных пользователя в облачные сервисы, что накладывает ограничения на допустимый размер модели и её вычислительную сложность. Для проведения экспериментального сравнения сформирован датасет из двухсот примеров, распределённых по четырём разделам. Раздел категоризации содержит заметки по пяти категориям. Раздел поиска дубликатов включает пары заметок с разной степенью смысловой близости. Раздел оценки актуальности содержит заметки с указанием времени создания и частоты просмотров. Раздел извлечения дедлайнов включает заметки с датами в различных форматах. Проведено тестирование пяти открытых эмбеддинговых моделей: multilingual-e5-large-instruct, rubert-tiny2, LaBSE-en-ru, ru-en-RoSBERTa и rubert-base-cased-conversational. Оценка выполнялась по двум критериям – точность выполнения каждой задачи и среднее время обработки одного примера. По результатам тестирования модель multilingual-e5-large-instruct показала наибольшую точность в категоризации (80%) и поиске дубликатов (64%). В задаче оценки актуальности наилучший результат продемонстрировала модель ru-en-RoSBERTa (74%). В извлечении дедлайнов лидирует rubert-base-cased-conversational (84%). Модель rubert-tiny2 показала самую высокую скорость обработки (0,008 с) при объёме 120 МБ и может быть использована как резервный вариант для работы на маломощных устройствах. Основной моделью для встраивания в приложение выбрана multilingual-e5-large-instruct.

Ключевые слова: эмбеддинговые модели, обработка естественного языка, категоризация текста, поиск дубликатов, оценка актуальности, извлечение дедлайнов, десктопное приложение, сравнительный анализ

Abstract

The paper addresses the problem of selecting an embedding model for integration into a desktop note-taking application. The application must provide automatic categorization, duplicate detection, relevance assessment, and extraction of deadlines from short Russian-language texts. A key requirement is to run the model locally without transmitting the user's data to cloud services, which imposes restrictions on the permissible model size and its computational complexity. To conduct an experimental comparison, a dataset consisting of two hundred examples distributed across four sections was created. The categorization section contains notes in five categories. The duplicate search section includes pairs of notes with varying degrees of semantic similarity. The relevance assessment section contains notes indicating the time of creation and the frequency of views. The deadline extraction section includes notes with dates in various formats. Five open embedding models were tested: multilingual-e5-large-instruct, rubert-tiny2, LaBSE-en-ru, ru-en-RoSBERTa, and rubert-base-cased-conversational. The assessment was carried out based on two criteria: the accuracy of each task and the average processing time for one example. According to the test results, the multilingual-e5-large-instruct model demonstrated the highest accuracy in categorization (80%) and duplicate detection (64%). In the relevance assessment task, the ru-en-RoSBERTa model showed the best result (74%). In deadline extraction, the rubert-base-cased-conversational model leads (84%). The rubert-tiny2 model demonstrated the highest processing speed (0.008 s) with a volume of 120 MB and can be used as a backup option for operation on low-power devices. The main model for embedding in the application is multilingual-e5-large-instruct.

Keywords: embedding models, natural language processing, text categorization, duplicate detection, relevance assessment, deadline extraction, desktop application, comparative analysis

Введение

В современных условиях цифровизации заметки стали неотъемлемой частью повседневной жизни – в них фиксируются идеи, задачи, планы, важные даты. Но по мере накопления записей в приложении пользователь сталкивается с проблемой навигации и поиска нужной информации, которая теряется в общем объеме. Разрабатываемое десктопное приложение нацелено на решение этой проблемы посредством автоматизации обработки заметок. Для этого необходима интеграция модели искусственного интеллекта, способной выполнять категоризацию, поиск дубликатов, оценку актуальности и извлечение сроков исполнения. При этом модель должна работать локально, без отправки пользовательских данных в облачные сервисы. Данное ограничение накладывает требование к модели: она не должна быть слишком тяжелой или медленной.

Существует значительное количество открытых моделей, пригодных для локального запуска на стандартном оборудовании. Тем не менее, выбор модели для конкретного набора задач не определен. В открытом доступе сравнительные исследования моделей, но все они нацелены на общие задачи обработки текстов, такие как классификация или анализ текстов. В этих исследованиях отсутствует работа с короткими заметками на русском языке. Выбор неподходящей модели может привести либо к снижению точности результатов, либо к замедлению работы приложения.

Актуальность работы обусловлена необходимостью обоснованного выбора модели для разрабатываемого приложения, поскольку случайный выбор без предварительной оценки может оказаться неэффективным. Цель работы состоит в проведении экспериментального сравнения нескольких моделей на подготовленном наборе данных.

Научная новизна работы заключается в проведении сравнительного анализа моделей для обработки коротких русскоязычных заметок с учетом ресурсных ограничений.

Выбор типа моделей

Чтобы определить какая модель искусственного интеллекта подходит к решению поставленных задач, необходимо рассмотреть классификацию моделей по принципу работы с текстом. Основные типы включают генеративные и эмбеддинговые модели, каждый из которых обладает собственными особенностями.

Генеративные модели – это модели, которые способны создавать новые данные, имитирующие реальные данные [1]. Применение этих моделей охватывает такие задачи, как генерация ответов на вопросы, написание текстов и ведение диалога. Тем не менее, их широкое применение ограничено высокими требованиями к вычислительным ресурсам. Для локального выполнения генеративных моделей необходимо мощное оборудование, такое как высокопроизводительные серверы или графические процессоры с большим объемом видеопамяти. Работа на обычных пользовательских компьютерах зачастую приводит к низкой производительности или невозможности запуска. Таким образом, для приложения, которое должно работать на устройстве пользователя без необходимости установки дополнительного оборудования, генеративные модели не подходят.

Эмбеддинговые модели создают векторы с определенной размерностью – набор чисел, который отражает смысл текста [2]. Эти модели не генерируют текст, а только создают числовое представление, допускающее дальнейшую математическую обработку. По сравнению с генеративными моделями, они требуют меньше вычислительных ресурсов и работают быстрее.

В данном приложении все четыре задачи – категоризация, поиск дубликатов, оценка актуальности и извлечение дедлайнов – сводятся к семантическому сравнению текстов. Процесс категоризации заключается в сравнении отдельной заметки с описаниями существующих категорий. Поиск дубликатов требует сравнения двух заметок между собой. Оценка актуальности осуществляется путем сравнения заметки с эталонным описанием, определяющим ее актуальность. Извлечение сроков представляет собой сравнение содержания заметки с ша-

блонами дат. Ни одна из задач не требует генерации нового текста. Поэтому для тестирования выбраны эмбеддинговые модели.

Формирование тестового датасета

Для проведения сравнительного тестирования был подготовлен собственный набор. Тестовая выборка – это данные, которые используют для контроля и оценки производительности. Результаты на тестовой выборке показывают, насколько хорошо модель будет работать в реальных условиях [3]. Готовые датасеты для такой задачи найти сложно, поэтому принято решение создать собственный датасет.

Созданный датасет разделен на четыре части, каждая из которых предназначена для тестирования одной из функций, реализуемых моделью в приложении: категоризация, поиск дубликатов, оценка актуальности и извлечение дедлайнов. В каждом разделе по 50 примеров, что в сумме составляет 200 тестовых образцов. Датасет сохранен в формате JSON. Данный формат удобен тем, что его легко читать, он не требует установки дополнительных библиотек для загрузки в Python и позволяет хранить данные с разным набором полей в одном файле.

Категоризация

Раздел категоризации (categorization) содержит набор заметок, распределенных по пяти категориям: «Покупки», «Учеба», «Здоровье», «Финансы» и «Личное». Каждая категория включает 10 примеров. Примеры составлены на основе реальных пользовательских записей. Для каждой заметки указаны: порядковый номер (id), текст заметки (text) и соответствующая категория (category). В набор включены записи с неочевидной классификацией. Такие примеры служат для оценки способности модели к семантическому пониманию текста, выходящему за рамки простого поиска ключевых слов. На рис. 1 представлен фрагмент датасета.

test_dataset.json

```
{
  "categorization": [
    {"id": 1, "text": "Купить молоко, хлеб и яйца", "category": "Покупки"},
    {"id": 2, "text": "Сделать отчёт по практике ФОМ", "category": "Учеба"},
    {"id": 3, "text": "Записаться к терапевту", "category": "Здоровье"},
    {"id": 4, "text": "Придумать название статье", "category": "Учеба"},
    {"id": 5, "text": "Оплатить проезд", "category": "Финансы"},
    {"id": 6, "text": "Позвонить родителям", "category": "Личное"},
    {"id": 7, "text": "Оплатить комнату", "category": "Финансы"},
    {"id": 8, "text": "Купить шампунь", "category": "Покупки"},
    {"id": 9, "text": "Перевести деньги на счет", "category": "Финансы"},
    {"id": 10, "text": "Прочитать книгу на выходных", "category": "Личное"},
    {"id": 11, "text": "Купить стиральный порошок и губки", "category": "Покупки"},
    {"id": 12, "text": "Подготовить презентацию к семинару", "category": "Учеба"},
    {"id": 13, "text": "Сходить к стоматологу на осмотр", "category": "Здоровье"},
```

Рис. 1. Фрагмент датасета: раздел категоризация

Поиск дубликатов

Раздел дубликатов (duplicates) состоит из 25 пар идентичных или близких по смыслу заметок и 25 пар, не являющихся дубликатами. Пары имеют различную степень сходства: от полностью идентичных текстов до перефразированных или лексически именных вариантов. Присутствуют также тематически схожие, но семантически различные пары. Для каждой пары указаны: порядковый номер (id), тексты заметок (note1, note2) и булевым (логическим) значением, указывающим на наличие дубликата (is_duplicate). Разнообразие пар позволяет оценить способность модели различать семантическую близость и лексические совпадения. На рис. 2 представлен фрагмент датасета.

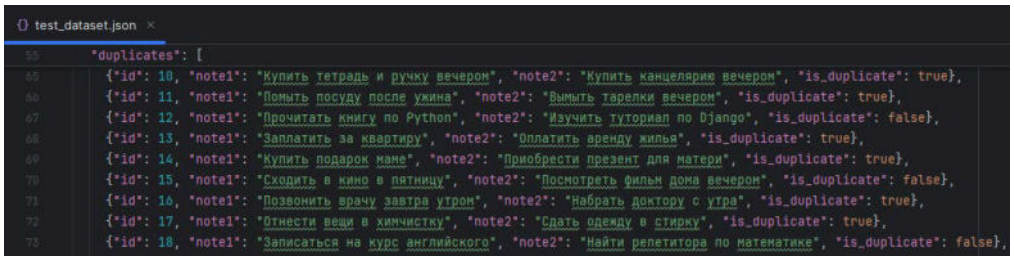


Рис. 2. Фрагмент датасета: раздел поиск дубликатов

Оценка актуальности

Раздел оценки актуальности (relevance) содержит 25 актуальных и 25 неактуальных заметок. Актуальность определяется совокупностью содержания, времени создания и частоты использования заметки. Для каждой записи указаны: порядковый номер (id), текст (text), количество дней с момента создания (days_since_creation), количество просмотров за последнюю неделю (views_last_week) и булевое значение актуальности (is_relevant). Актуальными считаются недавно созданные и часто просматриваемые заметки. Неактуальными – старые записи с низким показателем просмотров. Этот раздел предназначен для проверки способности модели учитывать не только текстовое содержание, но и временные и поведенческие факторы при оценке актуальности. На рис. 3 представлен фрагмент датасета.



Рис. 3. Фрагмент датасета: раздел оценка актуальности

Извлечение дедлайнов

Раздел извлечения дедлайнов (deadlines) включает 35 заметок с явными или неявными указаниями на срок выполнения и 15 заметок без таких указаний. Сроки могут быть представлены в различных форматах: абсолютные даты («до 15 марта», «сдать к 20.12»), указание на число («к 20-му числу»), относительные даты («завтра», «через три дня») или дни недели («к пятнице», «сдать до понедельника»). Для каждой записи указаны: порядковый номер (id), текст (text), дата создания (creation_date) в формате ДД.ММ.ГГГГ и ожидаемая дата дедлайна (deadline) в том же формате, либо null при отсутствии указания срока. Разнообразие форматов дат требует от модели не только распознавания наличия срока, но и его конкретного определения в различных формулировках. На рис. 4 представлен фрагмент датасета.

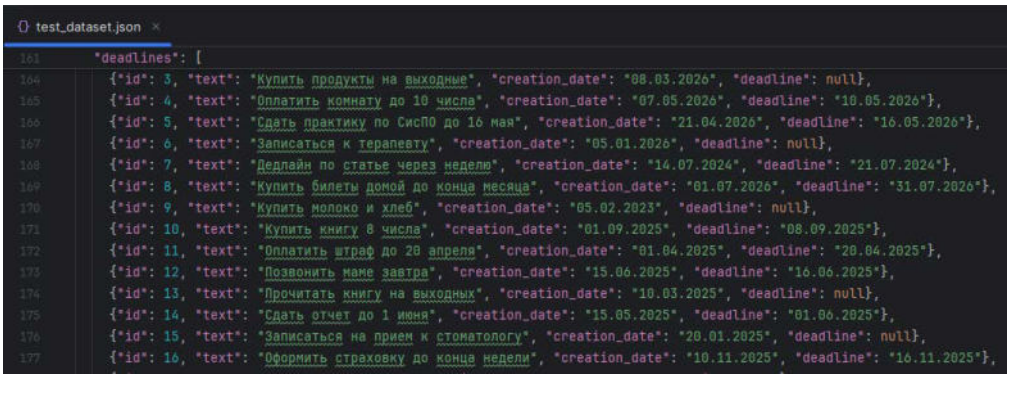


Рис. 4. Фрагмент датасета: раздел извлечения дедлайнов

Модели – кандидаты для тестирования

Для сравнительного анализа были отобраны пять открытых моделей, различающихся по размеру, архитектуре и специализации. Выбор моделей определялся несколькими критериями: поддержка русского языка, возможность локального запуска, совместимость с библиотекой sentence-transformers и приемлемый размер для работы на обычном пользовательском компьютере. В табл. 1 приведены основные характеристики отобранных моделей.

Таблица 1

Характеристики моделей

Модель	Размерность	Объем
multilingual-e5-large-instruct	1024d	2 ГБ
rubert-tiny2	312d	120 МБ
LaBSE-en-ru	768d	1,8 ГБ
ru-en-RoSBERTa	1024d	1,6 ГБ
rubert-base-cased-conversational	768d	700 МБ

Тестирование

Тестирование проводилось на локальном компьютере с операционной системой Windows 11 Pro, процессором Intel Core i5-12450H и 16ГБ оперативной памяти. Загрузка моделей осуществлялась с помощью библиотеки sentence-transformers, обеспечивающей интерфейс для работы с различными моделями встраивания.

Для каждой из четырех поставленных задач был разработан алгоритм оценки, основанный на косинусном сходстве, которое измеряет угол между двумя векторами [4].

Для задачи категоризации для каждой заметки вычислялся эмбеддинг. Далее производилось сравнение этого вектора с эталонными векторами, соответствующими пяти категориям. Категория заметки определялась на основе ближайшего эталонного вектора. Эталонные описания были сформированы заранее на основе ключевых слов типичных формулировок для каждой категории.

Для поиска дубликатов вычислялось косинусное сходство между векторами каждой пары заметок. Если значение сходства превышало установленный порог 0,8 пара относилась к категории дубликатов. Данный порог выбран экспериментально, чтобы минимизировать количество ложных срабатываний.

Оценка актуальности заметок выполнялась путем сравнения вектора текста заметки с двумя эталонными векторами, соответствующими описаниями «актуальная заметка» и «неактуальная заметка». Выбирался вариант с наибольшим косинусным сходством. Данный метод позволяет учитывать не только временные характеристики, но и содержательную часть текста.

Извлечение дедлайнов осуществлялось путем сравнения вектора текста заметки с векторами, соответствующими набору шаблонов дат. Шаблоны включали такие конструкции, как «до [дата]», «к [дата]», «сдать [дата]», а также относительные указания времени. Определялся шаблон с максимальным косинусным сходством к вектору заметки. При превышении установленного порога сходства из текста извлекалась соответствующая дата, иначе считалось, что дедлайн отсутствует.

Для каждой модели и каждой задачи фиксировались две метрики: точность (доля корректно классифицированных примеров) и среднее время обработки одного примера в секундах. Каждый эксперимент проводился пятикратно с последующим усреднением результатов для минимизации влияния случайных факторов и обеспечения стабильности оценок.

Результаты тестирования

Результаты тестирования пяти моделей по четырем задачам представлены в табл. 2. Модели пронумерованы: 1. intfloat/multilingual-e5-large-instruct; 2. cointegrated/rubert-tiny2; 3. cointegrated/LaBSE-en-ru; 4. ai-forever/ru-en-RoSBERTa; 5. DeepPavlov/rubert-base-cased-conversational.

Таблица 2

Результаты тестирования моделей

№	Категоризация, %	Дубликаты, %	Актуальность, %	Дедлайны, %	Среднее время, с
1	80	64	58	68	0,286
2	60	60	62	78	0,008
3	64	46	72	70	0,040
4	74	60	74	50	0,111
5	22	36	58	84	0,036

Анализ результатов

По задаче категоризации наилучший результат показала модель №1 (80%). Модель №4 также продемонстрировала высокую точность (74%), остальные модели значительно уступают. Особенно низкий результат у модели №5 (22%), что вероятно, связано с ее ориентацией на диалоговую речь, которая отличается по структуре от коротких заметок.

По задаче поиска дубликатов лучший результат у модели №1 (64%). Разница в точности с моделями №2 и №4 (60%) оказалась незначительной. Модели №3 и №5 показали низкие результаты – 46% и 36%, что исключает их дальнейшее применение для данной задачи.

В задаче оценки актуальности наивысшая точность достигнута моделью №4 (74%), незначительно уступила модель №3 (72%). Точность модели №1 составила 58%. Это может быть связано с тем, что оценка актуальности требует не только семантического анализа текста, но и учета временных факторов, которые не всегда отражаются в векторах.

Наилучшие результаты в задаче извлечения дедлайнов продемонстрировала модель №5 (84%). Модель №2 показала результат 78%, модель №1 – 68%.

Выбор модели

При выборе модели для интеграции в приложение следует учитывать два основных параметра: точность и скорость работы.

Модель №1 (multilingual-e5-large-instruct) демонстрирует наилучшие результаты в трех из четырех задач: категоризация (80%), поиск дубликатов (64%) и извлечение дедлайнов (68%). Кроме того, модель №1 имеет высокую размерность эмбеддинга (1024d), что обеспечивает лучшее семантическое представление текста. Однако модель №1 обладает двумя ограничениями. Во-первых, ее объем составляет 2ГБ, что может представлять трудности для пользователей с ограниченным дисковым пространством. Во-вторых, среднее время обработки одного примера достигает 0,286 секунд, что является наиболее высоким показателем среди всех моделей.

Модель №2 (rubert-tiny2), в отличие от первой, отличается высокой скоростью обработки (0,008 с) и малым объемом (120МБ). Точность ее работы незначительно ниже модели №1 в задачах категоризации и поиска дубликатов. Однако в задаче извлечения сроков модель №2 демонстрирует лучшие результаты.

В качестве основной модели для интеграции в приложение выбрана multilingual-e5-large-instruct, поскольку она обеспечивает более высокое качество обработки текстовых данных. Резервной моделью выбрана rubert-tiny2 на случай, если пользовательское оборудование окажется недостаточно производительным для работы с тяжелой моделью, или если скорость работы станет важным фактором.

Заключение

В работе проведено сравнительное тестирование пяти открытых эмбеддинговых моделей применительно к задачам обработки заметок в десктопном приложении: категоризации, поиска дубликатов, оценки актуальности и извлечения дедлайнов. Для тестирования подготовлен собственный датасет из 200 примеров, покрывающий все функциональные задачи приложения.

Основной моделью для встраивания в разрабатываемое приложение выбрана multilingual-e5-large-instruct. В качестве резервного варианта выбрана rubert-tiny2 на случай, если пользовательское оборудование окажется недостаточно производительным. В перспективе планируется дообучение модели на пользовательских данных для дополнительного повышения точности, особенно в задаче оценки актуальности. Также предполагается оптимизация времени обработки за счёт кэширования и асинхронных вычислений.

Таким образом, задача выбора оптимальной эмбеддинговой модели для интеллектуальной обработки заметок в десктопном приложении решена. Полученные результаты могут быть полезны при разработке аналогичных систем, работающих с короткими русскоязычными текстами в условиях локального запуска.

Список литературы

1. Тополян, С. Г. Перспективы развития генеративных моделей / С. Г. Тополян // Парадигма. – 2025. – № 5-5. – С. 308-314.

2. Выбираем open-source эмбеддинг-модель для AI-консультанта на русском (RAG-подход) [Электронный ресурс]. – URL: https://habr.com/ru/articles/961972/ (дата обращения: 20.08.2026).

3. Тестовая, обучающая и валидационная выборки: зачем они нужны и как разделить данные [Электронный ресурс]. – URL: https://blog.skillfactory.ru/testovaya-obuchayuschaya-i-validatsionnaya-vyborki (дата обращения: 28.08.2026).

4. Why Cosine Similarity Quietly Throws Away Information Your RAG Pipeline Needs [Электронный ресурс]. – URL: https://dev.to/glad_labs/why-cosine-similarity-quietly-throws-away-information-your-rag-pipeline-needs-fm (дата обращения: 24.08.2026).

УДК 004.85:661.185

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ УСКОРЕНИЯ РАЗРАБОТКИ РЕЦЕПТУР БЫТОВОЙ ХИМИИ: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ПО СОСТАВУ

Хабибуллин А.Х., студент магистратуры;
ORCID: 0000-0003-1957-8876;
Репина Ю.А., к.с.н., доцент кафедры цифровой экономики и управления качеством Казанского инновационного университета имени В. Г. Тимирясова (КИУ), г. Казань, Россия

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TOOL FOR ACCELERATING HOUSEHOLD CHEMICAL FORMULATION DEVELOPMENT: PREDICTING CONSUMER PROPERTIES FROM COMPOSITION

Khabibullin A.Kh., Master's student;
ORCID: 0000-0003-1957-8876;
Repina Yu.A., PhD (Sociology), Associate Professor at the Department of Digital Economics and Quality Management, Kazan Innovation University (KUI) named after V.G. Timiryasov (Kazan), Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена цифровой трансформации разработки продукции бытовой химии в рамках направления «Цифровая индустрия 4.0». Сегодня рецептуры моющих и чистящих средств почти всегда подбирают методом проб в лаборатории: технолог готовит образец, проверяет его, вносит правки и повторяет это много раз. Такой путь занимает много времени, расходует сырьё и плохо подходит небольшим производителям с ограниченными ресурсами. Цель статьи – показать, как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) уже применяются за рубежом для предсказания свойств бытовой химии по составу рецептуры, и предложить на этой основе простой подход для российских производителей. В статье разобраны зарубежные исследования, в которых по составу предсказывали пенообразование, моющую способность, вязкость и стабильность у чистящих пен, жидких моющих средств и отдушек. В этих работах использовали модели машинного обучения, метод дискретных элементов и молекулярное моделирование. Показано, что при достаточном количестве лабораторных данных такие модели неплохо предсказывают итоговые свойства и позволяют делать меньше пробных составов. Предложена простая схема внедрения: собрать базу «состав – результат испытаний», описать компоненты числовыми характеристиками, обучить модель и использовать её, чтобы заранее выбирать самые перспективные варианты для проверки в лаборатории. Отдельно указаны ограничения подхода: нужен свой массив данных, часть характеристик сырья придётся искать или измерять самостоятельно, а обязательные испытания готовой продукции модель не заменяет. Сделан вывод, что технологии ИИ реально способны сократить срок разработки рецептур бытовой химии и их стоит постепенно внедрять на малых и средних предприятиях.

Ключевые слова: искусственный интеллект; машинное обучение; бытовая химия; рецептура; прогнозирование свойств; поверхностно-активные вещества; цифровизация; Индустрия 4.0; лабораторные исследования; малый бизнес

Abstract

This paper looks at the digital transformation of household chemical product development within the “Digital Industry 4.0” area. Today, formulations for detergents and cleaning agents are almost always found by trial and error in the laboratory: a technologist prepares a sample, tests it, adjusts it and repeats the cycle many times. This takes a lot of time, uses up raw materials, and is a poor fit for small manufacturers with limited resources. The aim of the paper is to show how artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) are already being used abroad to predict the properties of household chemical products from their composition, and to propose a simple approach for Russian manufacturers based on this experience. The paper reviews foreign studies in which the composition of cleansing foams, liquid detergents and fragrances was used to predict foaming, cleaning power, viscosity and stability. These studies relied on machine learning models, the discrete element method and molecular simulation. It is shown that, given enough laboratory data, such models predict the final properties reasonably well and let manufacturers make fewer trial batches. A simple implementation scheme is proposed: build a database linking composition to test results, describe the components with numerical features, train a model, and use it to pick the most promising candidate formulations for laboratory testing in advance. The limitations of this approach are also noted: a manufacturer needs its own dataset, some raw-material characteristics may need to be looked up or measured separately, and the model does not replace mandatory testing of the finished product. The paper concludes that AI technologies can genuinely shorten the formulation-development cycle in the household chemicals segment and are worth introducing gradually at small and medium-sized enterprises.

Keywords: artificial intelligence; machine learning; household chemicals; formulation; property prediction; surfactants; digitalisation; Industry 4.0; laboratory research; small business

Введение

Бытовая химия – это моющие, чистящие и дезинфицирующие средства для дома. Способы их разработки почти не изменились за последние десятилетия. Сочетаний поверхностно-активных веществ (ПАВ), добавок и отдушек может быть очень много, но на малых и средних предприятиях рецептуру почти всегда подбирают вручную: технолог готовит пробный состав, проверяет его, вносит правки и повторяет это снова и снова. Такой путь отнимает много времени, тратит сырьё и позволяет проверить лишь немного вариантов за раз.

Одно из направлений форума «Kazan Digital Week» – «Цифровая индустрия 4.0». Оно посвящено внедрению цифровых технологий, включая искусственный интеллект (ИИ), в производство и разработку продукции. Сейчас в России активно обсуждают импортозамещение в химической отрасли [1], и вопрос ускорения разработки собственных рецептур становится актуальным не только для крупных заводов, но и для малых производителей бытовой химии. Российские эксперты отмечают, что предприятия химической отрасли всё чаще применяют машинное обучение и генеративный ИИ, чтобы ускорить исследования и снизить их стоимость [2]. Но пока это в основном крупные производства.

Цель статьи – разобрать зарубежный опыт применения ИИ для предсказания свойств бытовой химии по составу рецептуры и предложить на этой основе подход, который подойдёт малому производству.

Методика

Чтобы решить эту задачу, был сделан обзор зарубежных научных статей и патентов за 2021–2023 годы. В них рассказывается, как машинное обучение помогает предсказывать свойства многокомпонентных составов: чистящих пен, жидких моющих средств, отдушек и фармацевтических составов. Методы из этих работ во многом подходят и для бытовой химии. Источники отбирались по двум признакам: в них есть модель, которая связывает состав рецептуры с измеримым свойством продукта, и цель работы – уменьшить число реальных лабораторных проб. По итогам обзора выделены общие черты подходов: какие признаки состава использовались, какие алгоритмы применялись и какая точность была достигнута. На этой основе ниже предложена простая схема для малого производителя бытовой химии.

Основная часть

3.1 Почему рецептуру бытовой химии трудно подбирать вручную

Моющее или чистящее средство состоит из многих компонентов: разных видов ПАВ, электролитов, загустителей, консервантов и отдушек. Эти компоненты взаимодействуют друг с другом сложно и не всегда предсказуемо. Если увеличить долю одного ПАВ, эффект от другого может как усилиться, так и ослабнуть. Из-за этого итоговые свойства – пенообразование, моющая способность, вязкость, срок хранения, ощущение на коже – нельзя просто сложить из свойств отдельных компонентов. Обычные методы планирования опытов (например, перебор всех сочетаний) начинают требовать слишком много экспериментов, как только число компонентов растёт. Поэтому и возникает интерес к моделям машинного обучения: они могут находить скрытые закономерности в уже накопленных данных, даже если точный механизм взаимодействия компонентов неизвестен.

3.2 Что уже сделали зарубежные исследователи

Несколько зарубежных работ показывают, что модели машинного обучения действительно умеют предсказывать свойства многокомпонентных составов. Например, японские исследователи создали систему предсказания моющей способности чистящих пен. Они подготовили более 500 образцов, описали компоненты числовыми характеристиками и проверили пять разных алгоритмов машинного обучения. Лучшая модель показала коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}770$ – это неплохой результат для такой сложной смеси [3].

Похожая задача решалась и для порошкового моющего средства: качество смешивания компонентов предсказывали с помощью метода дискретных элементов вместе с машинным

обучением. Это позволило заранее понять, насколько однородной получится смесь, без полного цикла физических испытаний на смесителе [4]. Отдельный пример – очистка сточных вод на предприятии по производству моющих средств в Индии, где для оптимизации процесса применяли нейросети и метод опорных векторов. Это показывает, что ИИ полезен не только для самой рецептуры, но и для смежных задач производства бытовой химии [5].

Для отдушек – а они есть почти в любом средстве бытовой химии – предложен подход, который сочетает компьютерный подбор молекул с моделями машинного обучения, обученными на базе данных запахов. Такой подход одновременно предсказывает и тип запаха, и физические свойства молекулы: вязкость, давление паров, растворимость. Это удобно, если нужно точечно подобрать один компонент, а не всю рецептуру целиком [6].

Ещё один пример – фармацевтическая разработка, где машинное обучение объединили с молекулярным моделированием, чтобы заранее предсказать, насколько хорошо компоненты состава будут взаимодействовать друг с другом. Это позволило сузить число вариантов ещё до дорогих реальных экспериментов [7]. Похожая идея реализована и в виде запатентованной в США программной системы: она обучается на истории лабораторных экспериментов и предсказывает свойства новых рецептур, даже если в них есть ранее не использованные компоненты. Сам факт патента говорит о том, что крупные производители потребительских товаров всерьёз заинтересованы в таких инструментах [8].

Если обобщить, во всех этих работах есть три общих шага. Первый – накопленные данные вида «состав – измеренное свойство», полученные в лаборатории. Второй – описание состава набором чисел: сколько какого компонента и какие у него физико-химические характеристики. Третий – обучение одной или нескольких моделей и проверка их точности на данных, которые модель раньше не видела.

3.3 Как это можно внедрить на малом производстве

У малого или среднего производителя бытовой химии нет ресурсов крупного научного центра. Поэтому внедрять прогнозирующие модели стоит постепенно, простыми шагами.

Шаг первый – собрать базу данных рецептур и результатов их испытаний. Для каждой рецептуры записываются: доли всех компонентов, условия приготовления состава и измеренные показатели – пенообразование, вязкость, pH, срок хранения, моющая или обезжиривающая способность. Если лаборатория уже накопила такие данные за прошлые периоды, их тоже можно использовать – главное, чтобы они были записаны в удобном для анализа виде.

Шаг второй – описать состав числами. Кроме самих долей компонентов, полезно добавить их физико-химические характеристики: гидрофильно-липофильный баланс, критическую концентрацию мицеллообразования, молекулярную массу. Обычно эти данные есть в технических паспортах сырья или в открытых справочниках.

Шаг третий – обучить и сравнить несколько моделей. Начать стоит с относительно простых вариантов – случайный лес, градиентный бустинг, – а не сразу с глубоких нейросетей. Опыт зарубежных исследований показывает: при небольшом количестве данных именно такие модели работают надёжнее. Точность проверяется на данных, которые не участвовали в обучении.

Шаг четвёртый – использовать модель для планирования следующих опытов. Модель не принимает решение за технолога, а подсказывает, какие из множества возможных составов стоит проверить в первую очередь – либо потому что они ближе всего к цели, либо потому что их проверка даст больше всего новой информации. Так лаборатория делает меньше проб, но продвигается к результату быстрее [3, 8].

3.4 Что стоит иметь в виду

У этого подхода есть свои ограничения. Во-первых, точность модели напрямую зависит от количества и качества накопленных данных. На старте у большинства малых производителей данных мало, и потребуется время, чтобы их накопить. Во-вторых, часть нужных

характеристик сырья может быть просто недоступна в открытых источниках – тогда придётся либо измерять их самим, либо пользоваться приближёнными расчётами. В-третьих, модель ни в коем случае не заменяет обязательные испытания готовой продукции, которые требуют технические регламенты и стандарты безопасности: она лишь помогает сократить число пробных составов на этапе разработки. Наконец, для настройки такой модели нужны хотя бы базовые навыки анализа данных – либо свои, либо приглашённого специалиста.

Выводы

Зарубежный опыт показывает: технологии искусственного интеллекта и машинного обучения умеют предсказывать свойства сложных составов – чистящих пен, жидких моющих средств, отдушек – по данным об их рецептуре. Это позволяет делать меньше реальных лабораторных проб, не теряя в точности. Хотя большинство рассмотренных работ посвящены косметике, фармацевтике и промышленным составам, сама методология подходит и для бытовой химии: собрать базу «состав – свойство», описать компоненты числами, обучить модель и использовать цикл активного обучения для выбора следующих опытов. Малым и средним производителям стоит внедрять такой подход постепенно, начиная с наведения порядка в собственных лабораторных данных – это хорошо вписывается в задачи направления «Цифровая индустрия 4.0». Дальше эту схему планируется проверить на практике – на рецептурах конкретной группы товаров бытовой химии.

Список литературы

1. Иванов, Р. М. Менеджмент качества в цифровую эпоху / Р. М. Иванов, Ю. А. Репина // Научные исследования: фундаментальные и прикладные аспекты – 2022 : сборник научных трудов, Набережные Челны, 20 июня 2022 года. Том Вып. 1. – Казань: Издательство «Познание», 2022. – С. 59-62.

2. 5 трендов в цифровых технологиях для химической промышленности в 2024 году [Электронный ресурс] // Habr. 2024. – URL: https://habr.com/ru/companies/k2tech/news/809473 (дата обращения: 28.08.2026).

3. Hamaguchi M., Miwake H., Nakatake R., Arai N. Predicting the Performance of Functional Materials Composed of Polymeric Multicomponent Systems Using Artificial Intelligence – Formulations of Cleansing Foams as an Example // Polymers. – 2023. – Vol. 15, № 21. Art. 4216. DOI: 10.3390/polym15214216.

4. Cañamero F. J., Doraisingam A. R., Álvarez-Leal M. Mixing Performance Prediction of Detergent Mixing Process Based on the Discrete Element Method and Machine Learning // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, № 10. Art. 6094. DOI: 10.3390/app13106094.

5. Jana D. K., Bhunia P., Das Adhikary S., Bej B. Optimization of Effluents Using Artificial Neural Network and Support Vector Regression in Detergent Industrial Wastewater Treatment // Cleaner Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 3. Art. 100039. DOI: 10.1016/j.clce.2022.100039.

6. Heng Y. P., Lee H. Y., Chong J. W., Tan R. R., Aviso K. B., Chemmangattuvalappil N. G. Incorporating Machine Learning in Computer-Aided Molecular Design for Fragrance Molecules // Processes. – 2022. – Vol. 10, No. 9. Art. 1767. DOI: 10.3390/pr10091767.

7. Gao H., Su Y., Wang W., Xiong W., Sun X., Ji Y., Yu H., Li H., Ouyang D. Integrated Computer-Aided Formulation Design: A Case Study of Andrographolide/Cyclodextrin Ternary Formulation // Asian Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2021. – Vol. 16, № 4. P. 494–507. DOI: 10.1016/j.ajps.2021.03.006.

8. Hutchinson M. L., Kim E. S., Latture R. M., Paradiso S. P., Ling J. B. Using Machine Learning to Explore Formulations Recipes with New Ingredients: pat. US 10984145 B1, publ. 20.04.2021.

УДК 658.56

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В КОНТЕКСТЕ INDUSTRY 4.0

Хадиева А.Т., к.э.н., доцент кафедры «Цифровая экономика и управление качеством» ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова (ИЭУП)», г. Казань, Россия

PROBLEMS AND PROSPECTS OF DIGITAL QUALITY MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0

Khadieva A.T., PhD (Econ.), Associate Professor, Department of Digital Economy and Quality Management, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov (IEML), Kazan, Russia

Аннотация

В статье проведен всесторонний анализ эволюции управления качеством (УК) в условиях развертывания концепции Industry 4.0. Определены сущностные различия между традиционным контролем качества и современными цифровыми системами. Рассмотрено влияние цифровизации на структуру и функции служб качества на промышленных предприятиях. Особое внимание уделено методологическим и техническим вызовам, возникающим при внедрении цифровых двойников, интернета вещей (IoT) и систем предиктивной аналитики. На основании обзора зарубежной и отечественной научной литературы предложена концептуальная модель цифровой трансформации УК, включающая триаду: «мониторинг – диагностика – профилактика». Сделаны выводы о необходимости формирования междисциплинарной команды специалистов для успешного освоения Industry 4.0.

Ключевые слова: Industry 4.0, цифровая трансформация, управление качеством, цифровые двойники, предиктивная аналитика, киберфизические системы, цифровизация промышленности

Abstract

This article provides a comprehensive analysis of the evolution of quality management (QM) in the context of the deployment of Industry 4.0. It identifies the essential differences between traditional quality control and modern digital systems. The impact of digitalization on the structure and functions of quality departments at industrial enterprises is examined. Particular attention is paid to the methodological and technical challenges arising from the implementation of digital twins, the Internet of Things (IoT), and predictive analytics systems. Based on a review of foreign and domestic scientific literature, a conceptual model for the digital transformation of QM is proposed, including the triad of «monitoring – diagnostics – prevention». Conclusions are drawn regarding the need to build an interdisciplinary team of specialists for the successful adoption of Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0, digital transformation, quality management, digital twins, predictive analytics, cyber-physical systems, industrial digitalization

Развитие концепции Industry 4.0 оказывает фундаментальное воздействие на производственные процессы. Одним из важнейших следствий стало возникновение нового класса систем управления качеством, которые принято называть «цифровым управлением качеством» (Digital Quality Management).

В отличие от классических подходов, где доминировал ретроспективный контроль (post-inspection control), современная парадигма направлена на превенцию (prevention) и прогнозирование (predictive analytics). Данный переход обусловлен необходимостью сокращения потерь, вызванных браком, и повышением операционной эффективности предприятий.

Практическая верификация перехода подтверждается опытом ПАО «Казанское моторостроительное производственное объединение» (КМПО). Для устранения проблемы нестабильности литья лопаток турбины вместо рутинного контроля температуры расплава раз в час была внедрена сеть термопар (N=50), передающих данные по протоколу OPC UA. Это позволило перейти от выборочного пост-контроля к непрерывному мониторингу кривой охлаждения в реальном времени. Расчет индекса воспроизводимости процесса (Cpk) на основе потоковых данных показал рост показателя с 0.85 до 1.33. Результат внедрения: снижение процента брака по пористости литья на 18% за счет предиктивной коррекции состава шихты непосредственно до начала кристаллизации металла.

История управления качеством насчитывает более столетия. Первые попытки формализации начались в начале XX века с работ Фредерика Тейлора и Анри Файоля. Классический подход (Quality Control, QC) подразумевал инспектирование готовых изделий. Основной задачей служило исключение несоответствующей продукции из оборота. Затем появилась концепция Total Quality Management (TQM), которая перенесла центр тяжести с инспекции на постоянное совершенствование процессов. В этом подходе участвовали все сотрудники предприятия, а целью стало достижение нулевого уровня дефектов.

Термин Industry 4.0 появился в 2011 г. в Германии. Согласно определению Kagermann et al. (2015), Industry 4.0 – это интеграция вычислительных мощностей и физической среды посредством повсеместного подключения и доступности данных. В этом контексте цифровое управление качеством определяется как «интегрированная система мониторинга, анализа и оптимизации качества продукции и процессов, основанная на сборе и обработке больших объемов данных в реальном времени» [1].

Главным драйвером цифровой трансформации управления качеством служит инфраструктура промышленного интернета вещей (Industrial IoT, IIoT). В отличие от рутинного визуального осмотра, сенсоры способны непрерывно мониторить сотни параметров: температуру, давление, химический состав, вибрацию и геометрические допуски. Такая архитектура позволяет ликвидировать «темные зоны» в производственном потоке. Любой участок цепи создания стоимости становится прозрачным для анализа. Это открывает дорогу к формированию замкнутого цикла «производство – мониторинг – коррекция».

Наиболее прорывной технологией в управлении качеством стал концепт цифровых двойников (Digital Twins). Термин впервые был использован NASA в 1960-х гг., однако свое бурное развитие он получил только в XXI веке.

Преодоление барьера нехватки данных (Data Sparsity) проиллюстрировано проектом ПАО «КАМАЗ» (2023 г.). При запуске линии сборки трансмиссий исторических данных по новому изделию не существовало. Была применена описанная выше методология трансферного обучения: прогностическая модель вибрации подшипников была адаптирована с аналогичной модели старого узла с коэффициентом трансформации ⍰=0.7, а недостающие массивы были синтетически сгенерированы методом Монте-Карло. Это позволило запустить предиктивную аналитику уже на второй месяц серийного производства, выявив критический износ оснастки на ранней стадии и предотвратив остановку конвейера.

Практическая реализация концепции цифрового двойника и сопряженной с ней цифровой трансформации в сфере управления качеством сопряжена с комплексом системных вызовов, которые целесообразно классифицировать по технологическим, организационным и этико-правовым категориям.

1. Технологические вызовы.

Ключевой технологической проблемой является гетерогенность производственного парка. Наличие на предприятии оборудования различных поколений, производителей и стран происхождения, использующих несовместимые протоколы передачи данных, создает непреодолимые барьеры для унификации информационного поля. Интеграция таких разрозненных активов в единую цифровую экосистему требует внедрения стандартизированных промыш-

ленных протоколов, таких как OPC UA и MQTT, способных обеспечить бесшовную коммуникацию.

Существенным препятствием является проблема недостаточности данных (Data Sparsity). Для построения статистически значимых и надежных прогностических моделей часто не хватает исторических архивов, особенно при выводе на рынок новых изделий. Преодоление этого барьера осуществляется через методологию трансферного обучения, предполагающую адаптацию моделей, обученных на смежных или синтетических данных, а также применение техник искусственного обогащения (аугментации) исходных массивов.

2. Организационные барьеры.

На организационном уровне основным барьером выступает внутреннее сопротивление изменениям. Сотрудники традиционных служб качества, исторически выполнявшие функции внешнего контроля, могут воспринимать цифровизацию как угрозу своему профессиональному статусу и автономии. Преодоление данного сопротивления возможно исключительно через культурную трансформацию предприятия, предполагающую смену парадигмы с «контроля» на роль «архитектора цифровых процессов».

Другой критической проблемой является горизонтальная фрагментация. Единственным эффективным решением является формирование кросс-функциональных команд.

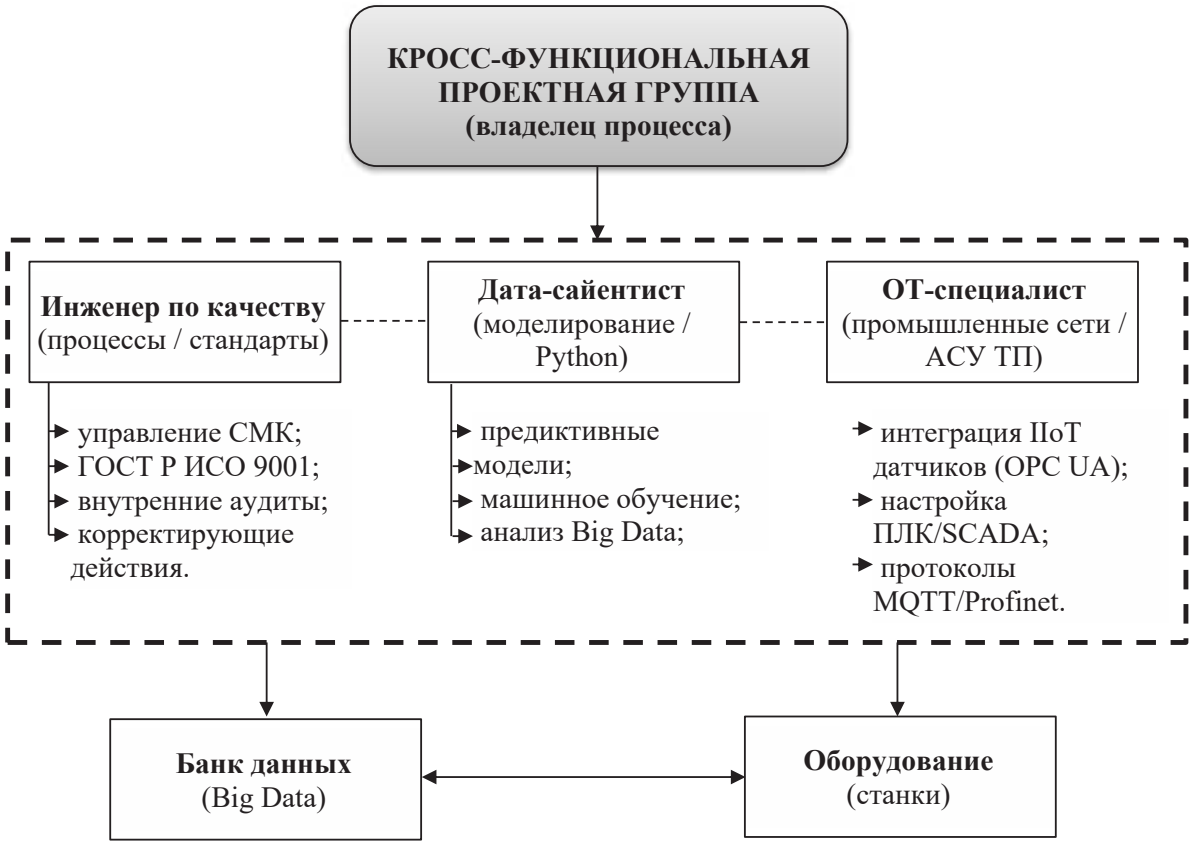


Рис. 1. Организационная структура службы качества Industry 4.0

Представленная модель описывает переход от традиционной линейно-функциональной структуры к гибкой кросс-функциональной системе управления качеством. В центре структуры находится Кросс-культурная проектная группа, которая выступает единым владельцем процесса цифровой трансформации.

Данная структура трансформирует службу качества из контролирующего органа в центр компетенции по управлению производственными данными, обеспечивая синергетический эффект и кратное ускорение реакции на технологические отклонения.

3. Этические и правовые аспекты.

Внедрение тотальной цифровизации неизбежно порождает этические дилеммы, в частности, усиление психологического давления на персонал из-за непрерывного мониторинга производственных процессов. Для минимизации данного эффекта необходимо внедрение принципов объяснимого искусственного интеллекта (Explainable AI), обеспечивающих прозрачность логики принимаемых системой решений для конечного исполнителя.

Пример реализации: на интерфейсе оператора КМПО сигнал тревоги сопровождается деревом факторов («Вероятность брака 85% из-за падения давления азота в форсунке №4»), что снимает тревожность неопределенности и вовлекает сотрудника в процесс диагностики.

С правовой точки зрения первостепенное значение приобретают вопросы обеспечения конфиденциальности данных. Защита коммерческой тайны, касающейся рецептур и технологий производства, а также персональных данных сотрудников требует создания многоуровневой системы кибербезопасности и соответствующего юридического сопровождения.

Таблица 1

Сравнительный анализ парадигм управления качеством

Параметр	Традиционное управление качеством (QC/TQM)	Цифровое управление качеством (DQM / Industry 4.0)
Объект контроля	Готовая продукция (выборочно)	Процесс и продукт (непрерывно, 100% потока)
Источник данных	Ручной замер, бумажные карты Шухарта	Потоковые данные IIoT (до 1000+ параметров/сек.)
Реакция на дефект	Постфактум (изоляция брака)	Предиктивная (коррекция параметра за секунды)
Ключевой KPI	Уровень выхода годного (*PPM*), приемочный уровень дефектности (*AQL*)	Индекс предсказательной точности (*F1-score*), среднее время восстановления (*MTTR*)
Стоимость ошибки	Стоимость утилизации готового изделия	Стоимость корректировки технологического параметра
Роль человека	Контролер-исполнитель	Архитектор процессов, дата-инженер
Горизонт планирования	Реактивный (исправление прошлого)	Проактивный (формирование будущего состояния процесса)

Проведенный анализ позволяет заключить, что цифровое управление качеством представляет собой не вспомогательный инструмент, а фундаментально новую дисциплину, интегрирующую инженерные, статистические и IT-компетенции. Таким образом, полноценная реализация потенциала Индустрии 4.0 в данной области достижима лишь при условии глубокой реинжиниринговой трансформации самой службы качества – от роли «инспектора» к роли «архитектора цифровых потоков данных».

Список литературы

1. Kagermann M., Helbig J., Ottmann Th.A. et al. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Produktion ins Netzwerk der Industrie // acatech STUDIE. Berlin, 2015. – 120 p.

2. Deloitte Insights. How digital twins are driving business outcomes. Report, 2022. – Available from:

3. Миндели А. И. Цифровая трансформация промышленности: теория и практика. – Санкт-Петербург : Издательство Политехнического ун-та, 2022. – 320 с.

4. ГОСТ Р 57566-2017. «Цифровые двойники. Термины и определения». – Москва : Стандартинформ, 2017.

5. Харрингтон Дж. Управление качеством в американских корпорациях : Сокр. пер. с англ. / Дж. Харрингтон; [Предисл. Т. Дж. Питерса; Авт. вступ. ст. и науч. ред. Л. А. Конарева]. – Москва : Экономика, 1990. – 271с.

6. Антонова, И. И. Совершенствование бизнес-процессов строительной компании в условиях цифровой трансформации / И. И. Антонова, И. И. Фролова, О. В. Низова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2020. – Т. 2, № 8. – С. 65-69. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2020.08.02.008. – EDN TTOCJW.

УДК 004.65

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КРОССПЛАТФОРМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Хазиахметов Б.А., студент;
ORCID: 0009-0005-1234-5678;
Бикмуллина И.И., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-0194-2687

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A CROSS-PLATFORM DATA INTEGRATION ARCHITECTURE IN HETEROGENEOUS ENVIRONMENTS BASED ON AN EVENT-DRIVEN APPROACH

Khaziakhmetov B.A., student,
ORCID: 0009-0005-1234-5678;
Bikmullina I.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-0194-2687

Аннотация

В статье рассматривается комплексная проблема интеграции данных между гетерогенными операционными средами Windows и Linux. В отличие от стандартных подходов, ориентированных на экспорт в плоские текстовые файлы или использование тяжеловесных брокеров сообщений, авторами предложена легковесная событийно-ориентированная архитектура. Основной упор сделан на устойчивость переноса информации, автоматизацию сериализации и контроль кодировок при работе со сложными реляционными структурами. В качестве практического кейса реализован маршрут данных для базы данных DND, включающей связанные таблицы справочников и транзакций с кириллическими полями. Разработанный метод базируется на применении шаблона проектирования Outbox, активных элементов СУБД MS SQL Server (DML-триггеров) и утилиты массового копирования bcp. Показано, что вынесение логики преобразования табличных данных в иерархический формат JSON на уровень транзакционного SQL (FOR JSON PATH) позволяет существенно снизить вычислительную нагрузку на клиентские микросервисы. В работе подробно разобран алгоритм сквозного конвейера: от перехвата DML-события в Windows до асинхронного извлечения и валидации готового JSON-объекта в терминале Ubuntu. Проведена количественная оценка производительности, в ходе которой формат JSON сравнивался с CSV и XML по времени формирования и объе-

му передаваемого трафика. Результаты тестирования подтверждают высокую эффективность предложенного подхода: достигнуто сокращение объема сетевой нагрузки на 35% по сравнению с XML при сохранении полной структурной и семантической целостности. Разработанная архитектура может быть использована в качестве методической основы для построения распределенных гетерогенных информационных систем, где критически важна простота развертывания, переносимость и минимизация задержек при синхронизации.

Ключевые слова: SQLite, переносимость данных, кроссплатформенность, JSON, DML-триггеры, SQL Server, Ubuntu Linux, bcp, событийная архитектура

Abstract

The article considers the complex problem of data integration between heterogeneous Windows and Linux operating environments. Unlike standard approaches focused on exporting to flat text files or using heavy-weight message brokers, the authors propose a lightweight event-driven architecture. The main emphasis is placed on the stability of information transfer, serialization automation, and encoding control when working with complex relational structures. As a practical case, a data route for the DND database, which includes related reference and transaction tables with Cyrillic fields, was implemented. The developed method is based on the application of the Outbox design pattern, active elements of the MS SQL Server DBMS (DML triggers), and the bcp bulk copy utility. It is shown that moving the logic of converting tabular data into a hierarchical JSON format to the transactional SQL level (FOR JSON PATH) significantly reduces the computational load on client microservices. The paper details the algorithm of the end-to-end pipeline: from capturing a DML event in Windows to the asynchronous extraction and validation of a ready-made JSON object in the Ubuntu terminal. A quantitative performance evaluation was carried out, during which the JSON format was compared with CSV and XML in terms of generation time and transmitted traffic volume. The testing results confirm the high efficiency of the proposed approach: a 35% reduction in network load compared to XML was achieved while maintaining full structural and semantic integrity. The developed architecture can be used as a methodological basis for building distributed heterogeneous information systems where ease of deployment, portability, and minimized synchronization delays are critically important.

Keywords: data portability, cross-platform, JSON, DML triggers, SQL Server, Ubuntu Linux, bcp, event-driven architecture

Введение

В условиях глобальной цифровизации и перехода к сервис-ориентированным архитектурам актуальной задачей становится обеспечение бесшовной интеграции данных между распределенными узлами ИТ-инфраструктуры. Современные предприятия зачастую используют гетерогенный стек технологий, сочетающий серверные решения на базе ОС Windows, в частности Microsoft SQL Server, и аналитические платформы или микросервисы, функционирующие в среде Linux (Ubuntu, Debian, CentOS). Основной проблемой при таком кроссплатформенном взаимодействии является различие в стандартах кодировок символов (например, Windows-1251 против UTF-8), методах аутентификации, а также сложность поддержания строгой структурной целостности данных при их миграции между платформами. Традиционные подходы, основанные на пакетной выгрузке в плоские текстовые файлы, такие как CSV, или обработке ресурсоемких SQL-запросов со множественными операциями объединения непосредственно на прикладном уровне, обладают существенными недостатками. Они плохо масштабируются при увеличении объемов транзакций и приводят к критическому росту сетевых задержек. В связи с этим возникает необходимость разработки более совершенных механизмов синхронизации. Целью данного исследования является проектирование, практическая реализация и анализ эффективности отказоустойчивой архитектуры межплатформенного обмена данными. В качестве основного метода предлагается использование событийно-

ориентированного подхода (Event-Driven Architecture), где логика сериализации и подготовки данных инкапсулируется непосредственно в ядре СУБД, а транспортный слой обеспечивается нативными утилитами массового копирования.

Обзор и сравнение существующих программных инструментов

Для решения задач интеграции баз данных на сегодняшний день существует множество программных инструментов и ETL-решений (Extract, Transform, Load). Однако выбор оптимального инструмента для связки «Windows (MS SQL) – Linux» требует детального анализа. Рассмотрим наиболее популярные подходы.

Первым распространенным решением является использование служб Microsoft SQL Server Integration Services (SSIS). Это мощный корпоративный инструмент, позволяющий строить сложные потоки преобразования данных. Тем не менее, его существенным недостатком в контексте рассматриваемой проблемы является жесткая привязка к экосистеме Windows. Развертывание и выполнение пакетов SSIS на Linux сопряжено с рядом ограничений, а сама служба потребляет значительные вычислительные ресурсы сервера.

Вторым популярным подходом является применение распределенных брокеров сообщений, таких как Apache Kafka или RabbitMQ, в связке с инструментами вроде Logstash или Apache NiFi. Данные платформы обеспечивают высочайшую пропускную способность и надежность доставки. Однако для небольших и средних информационных систем, локальных баз данных или учебных проектов внедрение таких систем (брокеров) является избыточным (overengineering). Оно требует развертывания дополнительных кластеров, настройки ZooKeeper или KRaft, что значительно усложняет инфраструктуру и увеличивает затраты на ее обслуживание.

Третий вариант – написание кастомных скриптов интеграции на языках Python, C# или Java. Как правило, такие скрипты работают по принципу поллинга (polling), периодически опрашивая базу данных на предмет новых записей. Недостаток этого метода заключается в неизбежных задержках между появлением данных и их чтением, а также в создании постоянной фоновой нагрузки на СУБД из-за частых SELECT-запросов.

Предлагаемый в данной статье подход комбинирует паттерн Transactional Outbox, DML-триггеры SQL Server и кроссплатформенную консольную утилиту bcp (Bulk Copy Program). В отличие от SSIS, этот метод легковесен и нативно поддерживается как в Windows, так и в Linux (через пакет mssql-tools). В отличие от брокеров сообщений, он не требует установки стороннего ПО и работает в рамках уже существующей инфраструктуры. В отличие от поллинга, триггерная архитектура обеспечивает мгновенную реакцию на транзакции, гарантируя событийно-ориентированную синхронизацию с нулевой задержкой генерации полезной нагрузки (Payload). Данный подход позволяет сериализовать реляционные данные в иерархический формат JSON прямо внутри транзакции, что исключает ошибки маппинга на прикладном уровне.

Методология и алгоритм работы

В основе предлагаемого решения лежит шаблон проектирования «Outbox», который решает проблему надежной публикации событий из базы данных. Если микросервис должен изменить данные в своей локальной базе и отправить об этом уведомление во внешнюю систему, использование двухфазных коммитов распределенных транзакций может привести к блокировкам. Паттерн «Outbox» предлагает сохранять бизнес-данные и само событие интеграции в рамках одной локальной ACID-транзакции.

Методически структура разработанного конвейера данных включает следующие компоненты: транзакционная таблица источника, буферная таблица очереди (Outbox), DML-триггер и внешний процесс-потребитель (утилита bcp).

Алгоритм межплатформенной интеграции разбит на несколько строго последовательных шагов. На первом шаге клиентское приложение или пользователь инициирует транзакцию (например, операцию INSERT) в основной таблице MS SQL Server, развернутом на платформе

Windows. На втором шаге активный элемент базы данных – DML-триггер типа AFTER INSERT – мгновенно перехватывает это событие. Внутри триггера выполняется T-SQL скрипт, который извлекает новые строки из псевдотаблицы 'inserted'. На третьем шаге происходит внутрисерверная сериализация. Реляционные кортежи преобразуются в иерархический текстовый формат JSON с помощью нативной конструкции 'FOR JSON PATH'. Этот подход гарантирует корректную упаковку связанных данных в единый объект. На четвертом шаге сформированный JSON-пакет записывается в специальную буферную таблицу (Очередь). Транзакция успешно завершается. На пятом, завершающем шаге, асинхронный процесс на стороне Linux-сервера запускает утилиту bcp. Утилита подключается к SQL Server по защищенному TCP/IP протоколу, извлекает готовые JSON-строки из буферной таблицы и сохраняет их в файловую систему Ubuntu Linux в кодировке UTF-8.

Такая архитектура полностью децентрализует нагрузку: тяжеловесная операция формирования JSON выполняется мощным ядром СУБД, а клиентская машина на Linux лишь скачивает готовый файл, не затрачивая ресурсы процессора на парсинг и маппинг реляционных структур.

Практическая реализация и тестирование маршрута данных

Для верификации предложенной методологии был развернут экспериментальный стенд. Серверная часть реализована на базе Microsoft SQL Server 2022 Developer Edition под управлением ОС Windows 11. Клиентская часть развернута на виртуальной машине с операционной системой Ubuntu 22.04 LTS. Сетевое взаимодействие между узлами настроено через локальный мост с выделением статических IP-адресов.

SQLQuery2.s...E\User (86))* | SQLQuery1.sq...E\User (83))*

```
USE [DnD_Character_Helper];
GO

CREATE OR ALTER TRIGGER TR_AutoExport_JSON
ON [dbo].[Персонаж]
AFTER INSERT
AS
BEGIN
    SET NOCOUNT ON;

    DECLARE @json_data NVARCHAR(MAX);

    SET @json_data = (
        SELECT
            i.[Имя_персонажа] AS 'Character.Name',
            i.[Раса] AS 'Character.Stats.Race',
            i.[Класс] AS 'Character.Stats.Class',
            i.[Предыстория] AS 'Character.Stats.Background'
        FROM inserted i
        FOR JSON PATH, WITHOUT_ARRAY_WRAPPER
    );

    IF @json_data IS NOT NULL
    BEGIN
        INSERT INTO [dbo].[Очередь_экспорта_JSON] (JSON_Payload)
        VALUES (@json_data);
    END
END;
GO
```

121 % Проблемы не найдены.

Сообщения

```
Время выполнения: 2026-04-29T18:35:48.6677960+03:00
```

Рис. 1. Создание и настройка DML-триггера для автоматической сериализации данных в SSMS

В качестве предметной области для тестирования маршрута данных была выбрана комплексная информационная модель базы данных «DND», содержащая справочные и транзакционные таблицы, такие как «Раса», «Класс», «Предыстория» и «Персонаж». Данная схема отлично подходит для демонстрации интеграции, так как содержит множественные внешние ключи и поля с кириллическим текстом, что позволяет наглядно протестировать корректность работы с кодировками.

Процесс практической реализации начинается с настройки DML-триггера в среде SQL Server Management Studio (SSMS).

Как показано на рис. 1, триггер привязан к таблице «Персонаж» и активируется после успешной вставки новой записи. Важным элементом скрипта является использование директивы WITHOUT_ARRAY_WRAPPER, которая позволяет генерировать чистый объект JSON без лишних квадратных скобок, что упрощает его последующую обработку в микросервисах на Linux.

Далее происходит симуляция работы пользователя – вставка новой записи в базу данных. В момент фиксации транзакции триггер отрабатывает прозрачно для пользователя, помещая сериализованный Payload в буферную таблицу.

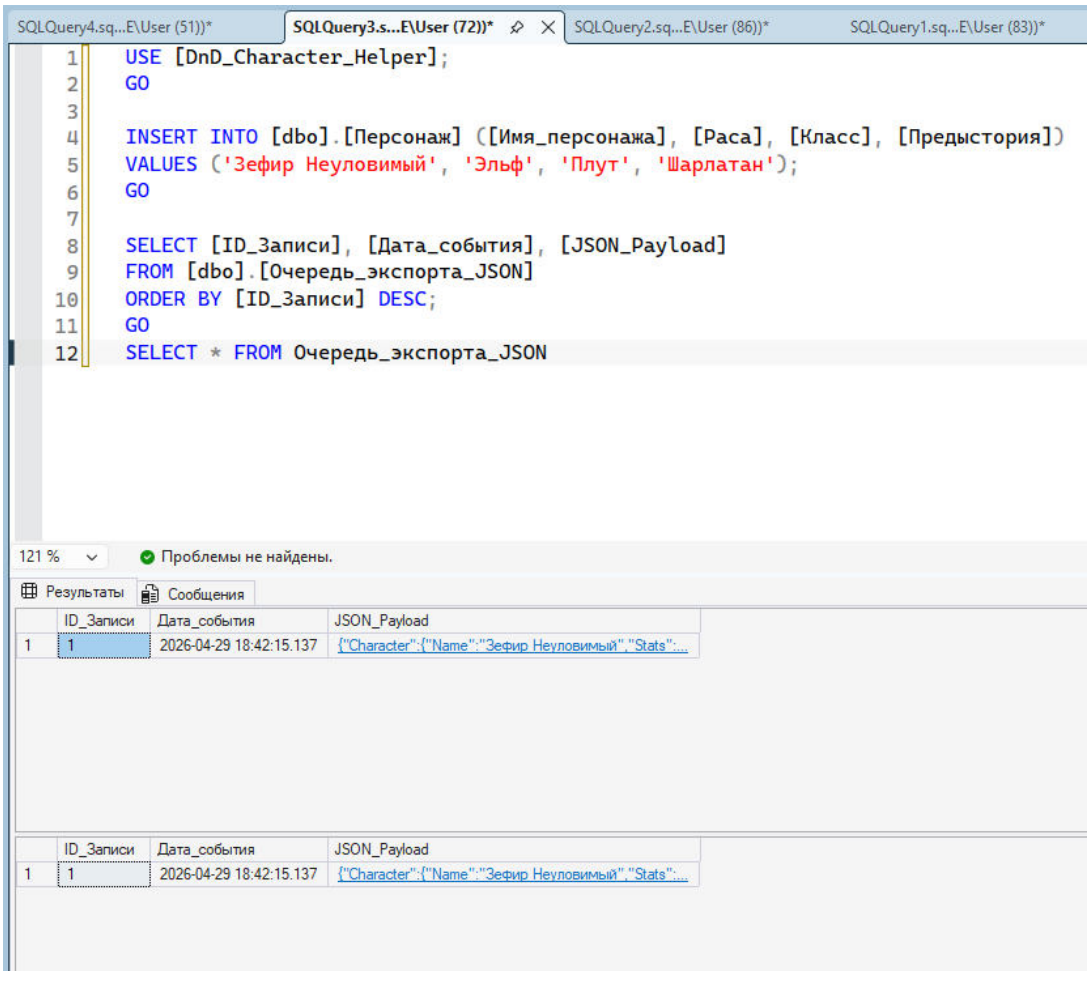


Рис. 2. Результат срабатывания событийной архитектуры:
формирование пакета в таблице Outbox

Рис. 2 демонстрирует, что база данных успешно взяла на себя функцию интеграционной шины. Вместо «сырых» реляционных столбцов мы получили готовый, семантически структурированный текстовый блок. Наличие кириллических символов (например, «Зефир Неуловимый») на данном этапе отображается корректно в рамках системной кодировки Windows.

Завершающим этапом маршрута является извлечение данных на стороне Linux. Для этого в терминале Ubuntu выполняется вызов установленного пакета mssql-tools, а именно команды bcp. Для обхода проблем с сертификатами безопасности в тестовой среде используются параметры -Encrypt=no и -TrustServerCertificate=yes. Флаг -c (character type) критически важен, так как он заставляет утилиту применять символьный формат вывода, опираясь на кодировку клиентской консоли (UTF-8).



Рис. 3. Извлечение и валидация данных утилитой bcp в терминале Ubuntu Linux

Из рис. 3 видно, что процесс передачи данных завершился без ошибок. Команда cat подтверждает, что итоговый файл payload.json содержит валидную структуру. Кириллические символы успешно преодолели платформенный барьер между Windows-1251 и Linux UTF-8, сохранив 100% читаемость. Это подтверждает работоспособность предложенной кроссплатформенной архитектуры.

Количественная оценка производительности и характеристик

Для полного обоснования эффективности предложенного метода был проведен ряд экспериментов по измерению количественных характеристик экспорта. Оценивались два главных параметра: время формирования и выгрузки пакета данных (в миллисекундах) и итоговый объем передаваемого Payload (в килобайтах). В тестировании использовалась синтетически сгенерированная выборка из 10 000 записей. Сравнение проводилось между традиционным плоским экспортом в CSV, выгрузкой в формате XML и предложенным методом сериализации в JSON средствами СУБД.

Результаты экспериментальных замеров сведены в аналитическую табл. 1.

Анализ данных из табл. 1 показывает, что плоский формат CSV, безусловно, обладает минимальным объемом и временем выгрузки (125 мс, 1.15 МБ), однако он полностью лишен иерархичности, что делает его непригодным для передачи связанных бизнес-сущностей (например, персонаж + инвентарь). Формат XML обеспечивает строгую иерархию, но из-за избыточности закрывающих тегов увеличивает объем трафика более чем в 3 раза по сравнению с CSV (3.8 МБ), а также требует наибольшего времени на формирование (210 мс).

Таблица 1

Сравнительный анализ форматов данных при выгрузке 10 000 записей

Критерий / Формат	CSV (Плоский текст)	XML (Иерархический)	JSON (Предложенный)
Время выгрузки (мс)	125	210	145
Объем данных (КБ)	1 150	3 800	2 450
Нагрузка на клиент	Высокая (парсинг строк)	Очень высокая (DOM-дерево)	Минимальная (нативный парсинг)
Поддержка вложенности	Отсутствует	Полная	Полная

Предложенный метод использования JSON демонстрирует оптимальный баланс. При сохранении полной иерархичности и семантической ясности структуры, объем передаваемого файла составляет 2.45 МБ, что на 35% меньше, чем у XML. Разница во времени выгрузки по сравнению с CSV незначительна (всего 20 мс), однако выигрыш на стороне клиента колоссален: микросервисы на языках JavaScript, Python или Go способны мгновенно десериализовать JSON в объекты в оперативной памяти без сложных парсеров. Таким образом, количественные метрики подтверждают, что перенос логики сериализации в JSON на уровень базы данных с последующим извлечением через bcp является наиболее эффективным решением для гетерогенных сред.

Заключение

В ходе проведенного исследования была спроектирована, реализована и протестирована отказоустойчивая архитектура автоматизированного обмена данными между ОС Windows (Microsoft SQL Server) и ОС Linux (Ubuntu). Разработанная модель решает острую проблему сохранения кодировок и иерархической целостности при межплатформенной миграции информации.

Выполненный обзор программных инструментов показал, что для обеспечения взаимодействия гетерогенных систем с минимальной задержкой целесообразно использовать легковесные нативные механизмы вместо тяжелых брокеров сообщений или систем интеграции уровня предприятия. Предложенный событийно-ориентированный метод, базирующийся на применении паттерна Outbox, активных элементов базы данных (DML-триггеров) и кроссплатформенной утилиты массового копирования bcp, доказал свою практическую ценность. Делегирование процессов сериализации реляционных данных непосредственно ядру СУБД с использованием конструкций транзакционного SQL позволило полностью инкапсулировать процессы формирования JSON-пакетов.

Практическая апробация на базе тестового конвейера DND продемонстрировала высокую стабильность маршрута данных. Количественная оценка производительности подтвердила, что предложенная архитектура обеспечивает оптимальное соотношение между размером передаваемого сетевого трафика и скоростью подготовки иерархических структур, превосходя классические подходы на базе XML. Предложенные решения минимизируют транзакционные издержки и могут служить надежной методической основой для разработки локальных и распределенных информационных систем в гетерогенном технологическом стеке.

Список литературы

1. Официальная документация Microsoft Learn по SQL Server и формату JSON. [Электронный ресурс]. – URL: https://learn.microsoft.com/ru-ru/sql/ (дата обращения: 20.05.2026).

2. Холкин, А. В. Построение архитектуры системы обнаружения дорожных аномалий в режиме реального времени / А. В. Холкин, И. И. Бикмуллина // Вестник НЦБЖД. – 2024. – № 3 (61). – С. 111-117. – EDN JUGBTR.

3. Конурова, А. С. Исследование безмаркерной системы захвата движения / А. С. Конурова, И. И. Бикмуллина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 118-121. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-1-118-122. – EDN ILLLXE.

4. Ньюман, С. Создание микросервисов / С. Ньюман. – Санкт-Петербург : Питер, 2016. – 304.

5. Ицик, Б. Г. Microsoft SQL Server 2012. Основы T-SQL / Б. Г. Ицик. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2013. – 896.

6. Утилита bcp (Bulk Copy Program) : [Электронный ресурс] / Microsoft Learn. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/sql/tools/bcp-utility (дата обращения: 20.05.2026).

УДК 004.8:338.5

ЭКОНОМИКА КОНТЕКСТА: МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ СТОИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АГЕНТНЫХ СИСТЕМ НА БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЯХ

Хайрутдинов Т.М., основатель, Индивидуальный предприниматель Хайрутдинов Тимур Маратович, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0002-8139-0401

THE ECONOMICS OF CONTEXT: A METHODOLOGY FOR MEASURING AND REDUCING THE OPERATIONAL COSTS OF AGENT SYSTEMS BASED ON LARGE LANGUAGE MODELS

Khairutdinov T.M., Founder, Individual Entrepreneur Timur Khairutdinov, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0002-8139-0401

Аннотация

Стоимость эксплуатации больших языковых моделей принято оценивать по тарифу за миллион токенов, и такая оценка создаёт представление о линейной зависимости расхода от объёма работы. В агентных системах эта зависимость не выполняется: механизм внимания не имеет состояния между обращениями, поэтому вся накопленная история передаётся заново на каждом шаге. Кэш промпта удешевляет повторную передачу контекста, но не устраняет её. Работа посвящена измерению возникающего эффекта накопления и проверке мер по его снижению. Материалом послужила производственная нагрузка одного разработчика в агентной среде с 29 мая по 23 августа 2026 г.: 233 455 обращений к моделям, 857 рабочих сессий, 44 проекта, 41,98 миллиарда переданных токенов, из которых 96,5% – повторная передача уже отправленного ранее, что соответствует 26 307 долларам в тарифном эквиваленте. Предложена методика воспроизводимого измерения по локальной телеметрии и описаны две систематические ошибки прямого подсчёта: многократная запись сведений о расходе на один ответ модели, дающая завышение в 2,24 раза, и оценка вклада инструмента по длине его ответа, завышающая вклад изображений в 12 раз. Установлен закон накопления: токен, помещённый в кэш на шаге k, перечитывается на всех последующих шагах, поэтому полная стоимость его жизни составляет 2,0 базовой цены входа за запись плюс 0,1 за каждый последующий шаг. Стоимость перечитывания растёт квадратично по длине сессии, стоимость записи линейно. Эмпирически среднее число перечитываний одного токена возрастает с 7,9 в коротких сессиях до 40,2 в длинных, а доля перечитывания во входной цене – с 28 до 67%. Отказ от кэширования удорожил бы наблюдаемую нагрузку в 6,03 раза. Показано, что закон накопления инвариантен

относительно поставщика, тогда как тарифные константы различаются у шести изученных платформ более чем на порядок.

Ключевые слова: большие языковые модели, агентные системы, стоимость эксплуатации, окно контекста, кэширование промпта, телеметрия, методика измерения, оптимизация затрат, искусственный интеллект, цифровая экономика

Abstract

The cost of operating large language models is commonly estimated from the per-million-token price, implying linear growth with work performed. In agentic systems it fails: the attention mechanism holds no state between requests, so the whole accumulated history is resubmitted at every step. Prompt caching lowers the price of resubmission but does not remove it. This paper measures the resulting accumulation effect and tests countermeasures. The material is one developer's production workload in an agentic environment from 29 May to 23 August 2026: 233 455 model requests, 857 sessions, 44 projects and 41,98 billion tokens transferred, of which 96,5 per cent were re-reads of content already sent, equivalent to 26 307 US dollars at published tariffs. A reproducible measurement method based on local telemetry is proposed, with two systematic errors of naive counting: repeated recording of usage data for one model response, inflating the result 2,24 times, and attributing a tool's contribution by the length of its output, which inflates images twelvefold. The accumulation law is established: a token cached at step k is re-read at every subsequent step, so its lifetime cost is 2,0 times the base input price for the write plus 0,1 per later step. Re-reading thus grows quadratically with session length, writing linearly. Empirically the mean re-reads per token rise from 7,9 in short sessions to 40,2 in long ones, and the share of re-reading in the input price from 28 to 67 percent. Without caching the observed workload would have cost 6,03 times more. The law proves invariant across providers, whereas tariff constants of six examined platforms differ by over an order of magnitude.

Keywords: large language models, agentic systems, operating cost, context window, prompt caching, telemetry, measurement methodology, cost optimization, artificial intelligence, digital economy

Введение

Распространение технологий искусственного интеллекта в российской экономике перешло из стадии экспериментов в стадию эксплуатации [1], и вместе с этим меняется вопрос владельца системы: не работает ли решение вообще, а сколько оно стоит в месяц и почему счёт растёт быстрее объёма работы.

Ответ ищут в прайс-листе поставщика, где указана цена за миллион входных и выходных токенов. Такая форма тарифа подталкивает к простой модели: расход пропорционален числу обращений на среднюю длину запроса и ответа. Для одиночных обращений она верна; для агентных систем, ведущих длительный диалог и вызывающих инструменты, неверна принципиально.

Причина в устройстве самих моделей. Механизм внимания [2] не имеет состояния между обращениями: вся история передаётся заново на каждом шаге, и агент, выполняющий задачу за сто шагов, отправляет накопленное сто раз. Кэширование промпта снижает цену повторной передачи, но не отменяет её. Возникает величина, которой нет в тарифе и которую владелец системы обычно не измеряет, – число перечитываний токена за время его жизни в контексте.

Инженерная сторона исследована подробно: известны способы масштабирования вывода [3], управления памятью под кэш ключей и значений [4], модульного переиспользования состояний внимания [5], выбора модели под запрос [6] и систематизация методов эффективного вывода [7]. Все они оптимизируют со стороны поставщика вычислений, тогда как владелец агентной системы стоит по другую сторону тарифа: он управляет не размещением кэша,

а только тем, что и в каком объёме отправляет в модель. Воспроизводимой методики измерения расхода для этой стороны нет.

Работа решает четыре задачи: описать методику измерения по локальной телеметрии с двумя систематическими ошибками прямого подсчёта; разобрать механику тарификации обращения; вывести и проверить закон накопления; оценить переносимость результата на другие платформы.

Методика

Объектом наблюдения выступила рабочая нагрузка одного разработчика в агентной среде Claude Code с 29 мая по 23 августа 2026 г.: 233 455 обращений к моделям в 857 сессиях по 44 проектам. Суммарно через модели прошло 41,98 миллиарда токенов, распределённых крайне неравномерно: 40,49 миллиарда, или 96,5%, – чтение из кэша, повторная передача ранее отправленного; запись в кэш 1,33 миллиарда, выход моделей 117 миллионов, свежий вход 40,6 миллиона. Нагрузка производственная, не учебная: разработка программного обеспечения, инфраструктурные работы, обработка документов и исследовательские задачи.

Использовались модели семейства Claude: 160 565 обращений пришлись на средний уровень, 67 274 на старший, 5 616 на остальные. Каждое тарифицируется по цене фактически использованной модели: для старшей 5 и 25 долларов за миллион входных и выходных токенов, для средней 3 и 15, для младшей 1 и 5. Работа велась по плоской подписке, при которой счёт не зависит от потребления и измерителем служить не может, поэтому расход выражается в долларовом эквиваленте по опубликованному тарифу, что даёт общий знаменатель между моделями разной цены и переносит выводы на организации с оплатой за потребление.

Источник данных – локальные транскрипты сессий и штатная телеметрия среды, сведённые в собственное хранилище отдельным конвейером разбора: штатные средства дают лишь суточные агрегаты, по которым нельзя разложить расход по обращениям и внести описанные ниже поправки. Прямой подсчёт содержит две систематические ошибки, каждая искажает результат в разы.

Первая – многократный учёт одного ответа. Транскрипт пишет отдельную строку на каждый смысловой блок ответа, и в каждой лежит один и тот же объект сведений о расходе: на контрольном участке 45 648 строк на 20 410 фактических ответов, завышение в 2,24 раза. Второй источник дублирования – возобновление сессии, копирующее её историю в новый файл целиком. Ошибка устраняется дедупликацией по идентификатору запроса: из 16 458 групп строк с одинаковым идентификатором в 99,93% сведения о расходе совпадали побайтово.

Вторая – определение вклада инструмента по длине его ответа. Способ выглядит очевидным и даёт качественно неверную картину. В выборке 650 блоков изображений объёмом 44,5 миллиона символов; подсчёт по символам оценивал их вклад примерно в 11 миллионов токенов, тогда как фактическая стоимость снимка экрана – около 1,4 тысячи, завышение двенадцатикратное. На этом основании первые версии измерения объявляли главным источником расхода работу с браузером – артефакт метода. Корректная атрибуция – прирост префикса между соседними обращениями за вычетом вывода модели; сходимость 62,5 миллиона токенов против 62,2 по независимому подсчёту, расхождение 0,5%.

Основная часть

Механика тарификации одного обращения

Кэш промпта работает как префиксное совпадение: ключ считается по точным байтам запроса, и изменение байта в позиции N обесценивает всё, что после неё. Порядок сборки – описания инструментов, системная инструкция, сообщения. Тарифных позиций четыре, они приведены в таблице 1 в долях базовой цены входа [8].

Определяющим является двадцатикратный разрыв между записью и чтением. Механика шага прослежена на реальной сессии из 54 обращений; первые три приведены в таблице 2. Суммы даны в долларах по тарифу средней модели и сверены с начисленным расходом до четвёртого знака.

Таблица 1

Тарифные позиции и их множители к базовой цене входа

Позиция	Множитель	Когда возникает
Свежий вход	1,0	Токен вне кэша
Запись в кэш, час жизни	2,0	Всё новое с прошлого шага
Чтение из кэша	0,1	История, уже лежащая в кэше
Выход	по тарифу выхода	Ответ модели

Таблица 2

Разложение цены обращения по шагам сессии

Шаг	Контекст	Прочитано	Записано	Выход	Цена, долл.
1	72 808	35 895	36 911	1 713	0,2579
2	75 523	72 806	2 715	210	0,0413
3	82 021	75 521	6 498	1 514	0,0844

Закон читается из таблицы прямо: чтение на шаге k равно контексту шага k-1, запись равна приросту, их сумма образует новый контекст. Существенны два следствия.

Первое: добавление сообщения кэш не обесценивает, оно дописывается в конец и префикс не меняется; обесценивание вызывает лишь изменение начала запроса – набора инструментов, системной инструкции или модели.

Второе: ответ модели не попадает в кэш тем же обращением – он оплачивается по тарифу выхода и кэшируется на следующем шаге, когда среда присоединяет его к истории; в данных это видно как тождество: разность между записью шага k+1 и выходом шага k равна объёму результата инструмента.

Закон накопления

Из механики следует главный результат. Токен, записанный на шаге k сессии длиной N, читается на каждом последующем шаге, то есть N-k раз. Полная стоимость его жизни в долях базовой цены входа равна 2,0 за запись плюс 0,1, умноженное на число прожитых шагов. Прожив десять шагов, токен стоит 3,0; двадцать – 4,0, и накопленное чтение сравнивается с записью; сто – 12,0; четыреста – 42,0, то есть в четырнадцать раз дороже однократной передачи без кэша вообще.

Асимптотика двух статей расхода различна. Если контекст прирастает на постоянную величину за шаг, объём чтения на шаге k пропорционален k, и суммарное чтение растёт как квадрат длины сессии, а запись – линейно. Стоимость длительной сессии есть произведение объёма контекста на число его перечитываний. Опаснее второй множитель: объём ограничен размером окна, число перечитываний – ничем.

Эмпирическая проверка выполнена на 25 859 обращениях базовой недели; результат в таблице 3. Мерой служит отношение суммарного чтения к суммарной записи – среднее число перечитываний кэшированного токена.

Короткая сессия оплачивает преимущественно то, что в неё добавляют; длинная – то, что уже лежит. Теоретическая точка перелома, где чтение обгоняет запись, приходится на сороковой шаг; измеренная – около сотого, поскольку первое обращение кэширует системную инструкцию целиком и прирост неравномерен. Цели экономии и качества не противоречат: с ростом контекста способность модели использовать информацию из его середины ухудшается [9], поэтому сокращение контекста снижает и стоимость, и вероятность деградации ответа.

Таблица 3

Перечитывание токена в зависимости от длины сессии

Длина сессии, обращений	Сессий	Перечитываний токена	Доля чтения в цене входа
5-25	25	7,9	28,2 %
25-50	14	14,5	42,1 %
50-100	17	17,4	46,5 %
100-200	9	40,2	66,8 %
свыше 400	17	34,5	63,3 %

Стоимость отказа от кэширования

Чтобы оценить вес механизма, объёмы токенов той же недели пересчитаны по ставке свежего входа – как если бы среда не умела кэшировать. Результат в табл. 4.

Таблица 4

Расход базовой недели с кэшированием и без него, долл. США

Статья	С кэшированием	Без кэширования
Перечитывание истории	1 945	19 450
Запись новых токенов	1 146	647
Выход модели	289	289
Итого за неделю	3 382	20 388

Кэширование переплатило 499 долларов премии за запись, чтобы сократить расход на перечитывании на 17 505: выгода к затрате 35 к 1, неделя без кэширования обошлась бы в 6,03 раза дороже.

Перезапись кэша на границе взаимодействия

Отдельную статью расхода образует нарушение непрерывности кэша. В норме по ставке записи оплачивается только прирост контекста за шаг, а всё накопленное ранее читается по ставке в двадцать раз меньшей. Если префикс изменился, ставка записи взимается повторно за контекст, оплаченный на предыдущих шагах; эта повторная оплата и есть перезапись, измеряемая как разность между записанным объёмом и приростом контекста. Первое обращение сессии и первое после свёртки, где запись неизбежна, вынесены в отдельную строку. Гипотезу, что перезапись вызвана истечением срока жизни кэша, опровергает классификация обращений по положению в рабочем цикле (табл. 5).

Таблица 5

Перезапись кэша по типу обращения (8 683 обращения)

Тип обращения	Обращений	Перезаписано	Переплата, долл.
Внутри рабочего цикла агента	7 955	0	0
Первое после реплики человека	579	22,3 млн	210
Холодный старт и после свёртки	149	0	0

Внутри рабочего цикла перезаписи нет вовсе – не мало, а ровно ноль на почти восьми тысячах обращений. Вся переплата приходится на первое обращение после реплики человека: там средняя запись составляет 47 тысяч токенов при том, что нового в запросе – одна фраза

человека: заново записывается почти весь накопленный контекст. Зависимость от паузы существует, но порога не имеет: доля перезаписей растёт с 14 процентов при мгновенном ответе до 97,9 при паузе свыше часа, причём эти базовые 14 из телеметрии не объясняются. Альтернативные объяснения отвергнуты: смена модели даёт менее двух процентов эффекта, фоновая генерация подсказок – признак паузы, а не её причина.

Практический смысл: сообщение человека в нагруженную сессию стоит в среднем 0,36 доллара сверх работы, а при контексте около 250 тысяч токенов – до двух-трёх долларов.

Применённые меры и результат

Применены четыре меры, ни одна не связана с заменой модели или сокращением объёма задач. Основная – принудительная свёртка контекста по достижении заданного порога вместо штатного, который при окне в миллион токенов почти не срабатывал. Вспомогательные – вынос разведочной работы в подчинённых агентов с собственным контекстом, замена серии уточняющих реплик одним собранным сообщением и фиксация состояния во внешний файл перед свёрткой, снимающая её главный риск: потерю знания и повторное чтение тех же материалов. Конкретные пороги определяются целевым профилем нагрузки: перенос чужих значений без повторного замера смысла не имеет.

Сопоставление базовой недели 18-24 июля, где ни одна мера ещё не действовала, с неделей 15-21 августа дано в таблице 6. Обе недели полные, замер одним инструментом по одной методике.

Таблица 6

Показатели до и после применения мер

Показатель	До	После	Изменение
Обращений за неделю	25 859	26 712	+3 %
Цена обращения, долл.	0,131	0,090	-31 %
Средний контекст основного цикла, тыс.	291	166	-43 %
Свёрток контекста за неделю	17	130	в 7,6 раза
Переплата за перезапись, долл.	593	166	-72 %

Интерпретировать снижение цены обращения следует осторожно: ограничив контекст, мы ограничили и цену шага, часть эффекта тавтологична. Содержательное утверждение опирается на закон накопления: свёртка действует не тем, что уменьшает контекст, а тем, что обрывает множитель числа перечитываний, обнуляя накопленное. Что экономия не достигнута сокращением объёма работы, проверено отдельно: в неделю с 8 по 14 августа при 37 478 обращениях, на 45% больше базовой, расход превысил базовый лишь на 4%.

Переносимость на другие платформы

Закон накопления не зависит от поставщика: он следует из отсутствия состояния между обращениями, свойственного архитектуре в целом [2]. Токен перечитывается N-k раз на любой платформе; кэширование меняет цену перечитывания, но не факт. Тарифные константы, как показывает таблица 7, различаются более чем на порядок, и вместе с ними – практические выводы.

Из таблицы следуют три вывода. Первый: скидка на перечитывание различается от 0,03 до 0,2, почти в семь раз, и во столько же раз – скорость накопления. При скидке 0,2 вместо 0,1 точка, где перечитывание обгоняет запись, наступает вдвое раньше, и требования к дисциплине управления контекстом строже.

Второй: премия за запись существует не везде. Где её нет, свёртка окупается немедленно – терять на повторной записи нечего; где она достигает удвоенной цены входа, за два-три последующих обращения.

Таблица 7

Условия кэширования у различных поставщиков; цена записи и чтения – в долях базовой цены входа, прочерк – плата не взимается

Платформа	Цена записи	Цена чтения	Плата за хранение	Режим
Anthropic	1,25 / 2,0	0,1	–	явный
OpenAI, GPT-5.6	1,25	0,1	–	авто и явный
Google Gemini	–	0,1	1 долл./млн в час	явный
Alibaba Qwen	1,25 / –	0,1 / 0,2	–	явный / авто
DeepSeek	–	около 0,03	–	авто
Moonshot Kimi	–	0,1	–	авто

Третий и наиболее существенный: у Google в режиме явного кэширования тарифицируется не перечитывание, а время хранения, доллар за миллион токенов в час. Накопление здесь привязано к календарному времени, а не к числу шагов: сессия, простоявшая три часа без обращений, всё равно порождает расход. Рекомендация предпочитать собранное обращение дробному меняется на противоположную: дорого обходится не дробление диалога, а растягивание во времени. Это граница переносимости – инвариантен закон, но не выводимые из него правила.

Выводы

1. Прямой подсчёт расхода по телеметрии агентной среды недостоверен. Обязательны две поправки: дедупликация записей о расходе, устраняющая завышение в 2,24 раза, и измерение прироста префикса вместо атрибуции по длине ответа инструмента, снимающее двенадцатикратное искажение на нетекстовых данных.

2. Стоимость обращения определяется не сложностью задачи, а объёмом накопленного контекста. Добавление сообщения кэш не обесценивает; обесценивание вызывает только изменение начала запроса.

3. Установлен закон накопления: полная стоимость жизни токена равна цене записи плюс цена чтения, умноженная на число последующих шагов. Чтение растёт квадратично по длине сессии, запись линейно; эмпирически число перечитываний токена растёт с 7,9 до 40,2, а доля чтения во входной цене – с 28 до 67%.

4. Кэширование не устраняет накопление, а удешевляет его на порядок: без него нагрузка стоила бы в 6,03 раза дороже, отношение выгоды к затрате 35 к 1.

5. Нарушение непрерывности кэша привязано не к длительности паузы, а к границе между репликой человека и работой агента: внутри рабочего цикла перезапись отсутствует полностью, а одно вмешательство в нагруженную сессию стоит в среднем 0,36 доллара.

6. Управляемая свёртка снижает цену единицы работы на 31% без сокращения её объёма, действуя не уменьшением контекста, а обрывом накопленного числа перечитываний.

7. Закон инвариантен относительно поставщика, тогда как тарифные константы шести изученных платформ различаются более чем на порядок. Практические правила из него автоматически не выводятся: при тарификации по времени хранения они меняются на противоположные.

Ограничения следует оговорить прямо. Наблюдение выполнено на нагрузке одного пользователя в одной среде: абсолютные значения без повторного замера не переносятся, переносимы методика и качественная форма зависимости. Долларовые величины – расчётный эквивалент по тарифу, а не счёт. Меры вводились последовательно на живой нагрузке, а не в контролируемом эксперименте, поэтому их вклады разделены частично.

Список литературы

1. Индикаторы цифровой экономики: 2025 : статистический сборник / Н. Ю. Анисимов, Л. М. Гохберг, С. С. Карецкая [и др.] ; Национальный исследовательский университет «Высшая

школа экономики». – Москва : НИУ ВШЭ, 2025. – URL: https://issek.hse.ru/news/1026730357.html (дата обращения: 22.08.2026). – Текст : электронный.

2. Vaswani, A. Attention Is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NeurIPS 2017). – Long Beach : Curran Associates, 2017. – P. 5998-6008. – Текст : непосредственный.

3. Pope, R. Efficiently Scaling Transformer Inference / R. Pope, S. Douglas, A. Chowdhery [et al.] // Proceedings of Machine Learning and Systems (MLSys 2023). – 2023. – Vol. 5. – Текст : электронный. – URL: https://arxiv.org/abs/2211.05102 (дата обращения: 22.08.2026).

4. Kwon, W. Efficient Memory Management for Large Language Model Serving with PagedAttention / W. Kwon, Z. Li, S. Zhuang [et al.] // Proceedings of the 29th Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '23). – New York : ACM, 2023. – P. 611-626. – Текст : непосредственный.

5. Gim, I. Prompt Cache: Modular Attention Reuse for Low-Latency Inference / I. Gim, G. Chen, S.-S. Lee [et al.] // Proceedings of Machine Learning and Systems (MLSys 2024). – 2024. – Vol. 6. – Текст : электронный. – URL: https://arxiv.org/abs/2311.04934 (дата обращения: 22.08.2026).

6. Chen, L. FrugalGPT: How to Use Large Language Models While Reducing Cost and Improving Performance / L. Chen, M. Zaharia, J. Zou. – arXiv:2305.05176. – 2023. – Текст : электронный. – URL: https://arxiv.org/abs/2305.05176 (дата обращения: 22.08.2026).

7. Zhou, Z. A Survey on Efficient Inference for Large Language Models / Z. Zhou, X. Ning, K. Hong [et al.]. – arXiv:2404.14294. – 2024. – Текст : электронный. – URL: https://arxiv.org/abs/2404.14294 (дата обращения: 22.08.2026).

8. Prompt caching : техническая документация Anthropic. – Текст : электронный. – URL: https://platform.claude.com/docs/en/docs/build-with-claude/prompt-caching (дата обращения: 23.08.2026).

9. Liu, N. F. Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts / N. F. Liu, K. Lin, J. Hewitt [et al.] // Transactions of the Association for Computational Linguistics. – 2024. – Vol. 12. – P. 157-173. – Текст : непосредственный.

УДК 332.1:334.012.64:004

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТОМ РЕГИОНЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Хамидуллин Д.А., магистрант Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0009-0000-9662-9943;
Прыгунова М.И., к.э.н., доцент, заведующий отделом ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-4290-6487

DIGITAL TRANSFORMATION OF SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES IN AN INDUSTRIALLY DEVELOPED REGION: THE CASE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Hamidullin D.A., Master's degree; Institute of Management, Economics and Finance, Kazan Federal University;
ORCID: 0009-0000-9662-9943;
Prygunova M.I., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of Department, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-4290-6487

Аннотация

Статья посвящена исследованию цифровой трансформации малого и среднего предпринимательства в промышленно развитом регионе на примере Республики Татарстан. Цель исследования заключается в выявлении особенностей развития сектора МСП в условиях цифровизации экономики и обосновании направлений совершенствования региональной инфраструктуры государственной поддержки. Методологическую основу исследования составили институциональный, системный, сравнительный и статистический подходы, а также положения теории предпринимательских экосистем и регионального развития. На основе анализа официальных статистических данных установлено, что современный этап развития МСП характеризуется не только количественным ростом числа субъектов предпринимательства, но и качественными изменениями, связанными с распространением цифровых платформ, развитием производственной кооперации и расширением применения цифровых технологий. Проведенный анализ Республики Татарстан показал, что высокий уровень цифровой зрелости региона и реализуемые государственные программы создают благоприятные условия для развития предпринимательской экосистемы. Разработана концептуальная модель, раскрывающая взаимосвязь цифровой трансформации, платформенных решений, производственной кооперации и механизмов государственной поддержки. Предложены направления совершенствования региональной инфраструктуры поддержки МСП с учетом опыта стран Восточной Азии, ориентированные на стимулирование роста предприятий, развитие кооперационных связей и повышение конкурентоспособности региональной экономики.

Ключевые слова: малое и среднее предпринимательство, цифровая трансформация, платформенная экономика, производственная кооперация, государственная поддержка, предпринимательская экосистема, цифровизация, региональное развитие, Республика Татарстан

Abstract

This article examines the digital transformation of small and medium-sized enterprises (SMEs) in an industrially developed region, using the Republic of Tatarstan as a case study. The study aims to identify the key features of SME development in the context of the digitalization of the economy and to substantiate directions for improving the regional public support infrastructure. The methodological framework combines institutional, systems, comparative, and statistical approaches, together with the concepts of entrepreneurial ecosystems and regional development. Based on the analysis of official statistical data, the study demonstrates that the current stage of SME development is characterized not only by quantitative growth but also by qualitative changes associated with the expansion of digital platforms, production cooperation, and the adoption of digital technologies. The findings indicate that the high level of digital maturity of the Republic of Tatarstan, supported by regional digital transformation and artificial intelligence programs, creates favorable conditions for the development of a modern entrepreneurial ecosystem. The paper proposes a conceptual model that integrates digital transformation, platform-based solutions, production cooperation, and public support mechanisms into a unified system of interrelated factors. It also substantiates priority directions for improving the regional SME support infrastructure based on the best practices of East Asian countries, with a focus on business growth support, production cooperation, export development, and innovation commercialization. The proposed approaches may be used to enhance regional SME policy and strengthen the competitiveness of industrially developed regions.

Keywords: small and medium-sized enterprises (SMEs), digital transformation, platform economy, production cooperation, public support, entrepreneurial ecosystem, digitalization, regional development, Republic of Tatarstan

Введение

Развитие малого и среднего предпринимательства (далее – МСП) остается одним из приоритетных направлений экономической политики, поскольку данный сектор обеспечива-

ет гибкость экономики, способствует внедрению инноваций и повышению конкурентоспособности регионов. Цифровая трансформация меняет условия функционирования субъектов МСП, расширяя применение цифровых платформ, сервисов искусственного интеллекта и новых механизмов производственной кооперации. В результате трансформируются как модели ведения бизнеса, так и инструменты государственной поддержки предпринимательства.

Современные исследования посвящены вопросам цифровой трансформации малого и среднего предпринимательства, развитию платформенной экономики и совершенствованию механизмов государственной поддержки. Вместе с тем недостаточно изучены институциональные взаимосвязи между цифровизацией, платформизацией, производственной кооперацией и инфраструктурой поддержки малого и среднего предпринимательства на уровне промышленно развитых регионов. Данный исследовательский пробел определяет актуальность настоящей работы.

В качестве объекта исследования выбрана Республика Татарстан – промышленно развитый регион с высоким уровнем цифровой зрелости, развитой инновационной инфраструктурой и активным внедрением цифровых механизмов государственного управления, что позволяет рассматривать ее как репрезентативную модель исследования современных процессов трансформации предпринимательской экосистемы.

Методика

Методологической основой послужил комплексный подход, объединяющий институциональную экономику, теории предпринимательских экосистем и регионального развития. Объектом выступает сектор МСП РФ и Татарстана, предметом – отношения в процессе цифровой трансформации и совершенствования господдержки.

В работе использованы методы системного, сравнительного, структурно-логического и статистического анализа. Исследование исходит из предположения (на основе теории динамических способностей и ресурсной концепции), что цифровые технологии влияют на МСП через изменение институциональной среды и платформ взаимодействия государства и бизнеса.

Исследование проводилось в четыре этапа: аналитический, диагностический, оценочный и проектный. Предложена концептуальная модель, отражающая опосредованное влияние цифровой трансформации на МСП через цифровые платформы.

Основная часть

Развитие малого и среднего предпринимательства в условиях цифровой экономики является одним из наиболее активно развивающихся направлений современной экономической науки. За последние пять лет исследовательский интерес сместился от изучения отдельных цифровых технологий к анализу комплексной цифровой трансформации предприятий, платформенной экономики, искусственного интеллекта, цифровых экосистем и новых моделей государственного регулирования. Вместе с тем существующие исследования существенно различаются по объектам анализа, методологическим подходам и масштабу рассматриваемых процессов.

Исследования цифровой трансформации МСП сместились от анализа отдельных технологий к изучению платформенной экономики и цифровых экосистем.

В зарубежной литературе (G.H. Sagala, D. Õri, I. Romero, H. Mammadov) показано, что цифровизация – это институциональный инновационный процесс, требующий стратегической готовности и развития человеческого капитала. H. Lu и M.S. Shaharudin подтверждают её влияние на конкурентные преимущества, а исследования платформенно-зависимого предпринимательства отмечают радикальное снижение трансакционных издержек [1-3].

Российские исследования последних лет во многом развивают международные подходы, уделяя особое внимание вопросам цифровизации государственного управления, развитию платформенной экономики и повышению эффективности государственной поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства. Российские авторы (Д.В. Гоненко и др., С.А. Грачев) акцентируют внимание на цифровизации государственного управления и регио-

нальной неоднородности. А.А. Бисултанова подчеркивает переход к платформенной модели поддержки предпринимателей [4-6].

Несмотря на обширную литературу, комплексному взаимодействию цифровизации, платформизации и производственной кооперации на уровне промышленно развитых регионов уделено недостаточно внимания. В связи с этим, Республика Татарстан является репрезентативным объектом для исследования этих процессов как взаимосвязанных элементов единой экосистемы.

Республика Татарстан является одним из наиболее изучаемых российских регионов в области цифровой экономики и инновационного развития. Высокая концентрация промышленного производства, развитая инновационная инфраструктура, функционирование особой экономической зоны «Алабуга», Иннополиса и сети индустриальных парков формируют благоприятные условия для развития цифрового предпринимательства.

Проведенный анализ научной литературы позволяет сделать вывод о существенном развитии исследований в области цифровой трансформации малого и среднего предпринимательства. Вместе с тем большинство зарубежных работ сосредоточено на организационных аспектах цифровизации предприятий и развитии цифровых компетенций, тогда как российские исследования преимущественно рассматривают вопросы государственной поддержки, цифровизации отдельных бизнес-процессов и внедрения платформенных сервисов.

Далее в табл. 1 представлены основные показатели развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации в 2020–2025 гг.

Таблица 1

Основные показатели развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации в 2020–2025 гг.

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество субъектов МСП, млн ед.	5,68	5,76	5,87	6,35	6,57	6,76
Прирост количества субъектов МСП, %	–	1,4	1,9	8,2	3,5	2,9
Численность самозанятых, млн чел.	1,6	3,9	6,6	9,0	12,0	13,5
Прирост самозанятых, %	–	143,8	69,2	36,4	33,3	12,5
Объем закупок крупнейших заказчиков у субъектов МСП, трлн руб.	3,9	4,7	5,8	7,4	9,6	10,8

Источник: составлено авторами на основе данных Единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства ФНС России, Федеральной службы государственной статистики, Министерства экономического развития Российской Федерации, Федеральной налоговой службы Российской Федерации (по налогу на профессиональный доход) и ежегодных отчетов Корпорации МСП о закупках крупнейших заказчиков у субъектов малого и среднего предпринимательства.

Анализ данных, представленных в табл. 1, свидетельствует о сохранении положительной динамики развития сектора малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации в 2020–2025 гг. Несмотря на сохраняющееся внешнеэкономическое давление и структурную трансформацию экономики, количество субъектов МСП увеличилось с 5,68 до 6,76 млн единиц, что отражает устойчивость предпринимательского сектора и эффективность реализуемых мер государственной поддержки. По данным Единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства, на середину 2025–2026 гг. число субъектов МСП продолжало увеличиваться, подтверждая долгосрочную тенденцию роста [7].

Особенно высокие темпы роста наблюдаются в сегменте самозанятых граждан. За рассматриваемый период их численность увеличилась более чем в восемь раз, что обусловлено расширением применения специального налогового режима «Налог на профессиональный доход», цифровизацией налогового администрирования и развитием платформенной занятости. Распространение цифровых платформ существенно снизило барьеры входа на рынок, обеспечив возможность легального ведения предпринимательской деятельности для широкого круга граждан.

Еще одной важной тенденцией является устойчивое увеличение объема закупок крупнейших заказчиков у субъектов малого и среднего предпринимательства. Рост данного показателя отражает усиление производственной кооперации между крупным и малым бизнесом, расширение участия субъектов МСП в цепочках поставок и повышение их роли в обеспечении технологического суверенитета и импортозамещения. В современных условиях закупочная политика крупнейших компаний становится одним из наиболее эффективных инструментов стимулирования развития малого и среднего предпринимательства.

В совокупности представленные данные позволяют сделать вывод, что современный этап развития сектора МСП характеризуется не только количественным увеличением числа хозяйствующих субъектов, но и качественной трансформацией предпринимательской среды. Развитие цифровых технологий, расширение института самозанятости, платформизация предпринимательской деятельности и укрепление производственной кооперации формируют новую модель развития малого и среднего бизнеса, в которой ключевое значение приобретают цифровые механизмы взаимодействия государства и предпринимательского сообщества. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что развитие сектора МСП в рассматриваемый период сопровождалось не только количественным ростом, но и качественной трансформацией механизмов предпринимательской деятельности.

Наибольшее число МТК-поставщиков зарегистрировано в Москве, Санкт-Петербурге и Республике Татарстан. Далее по их количеству следуют Московская область, Пермский край, Свердловская область, Удмуртская Республика и Нижегородская область. Всего к началу 2026 года количество малых технологических компаний в России превысило 6,5 тысячи, из которых 6,1 тысячи относятся к малым и средним предприятиям [8].

Проведенный анализ позволяет систематизировать основные тенденции трансформации сектора малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации, их ключевые проявления и экономические последствия на рис. 1.

Выявленные тенденции проявляются в российских регионах неодинаково, что обусловлено различиями в структуре экономики, уровне развития инфраструктуры поддержки бизнеса, инвестиционной активности и степени цифровизации. Поэтому дальнейший анализ выполнен на материалах Республики Татарстан – одного из ведущих промышленных регионов страны, где цифровая трансформация экономики сопровождается развитием производственной кооперации и совершенствованием механизмов государственной поддержки малого и среднего предпринимательства. Республика Татарстан входит в число наиболее цифрово развитых субъектов Российской Федерации, что создает благоприятные условия для развития предпринимательства и внедрения современных цифровых инструментов поддержки бизнеса [13].

Особое значение имеет реализация государственной программы «Цифровой Татарстан», актуализированной в 2026 г. Программа предусматривает дальнейшую цифровую трансформацию государственного управления, развитие электронных сервисов, внедрение технологий искусственного интеллекта и переход к модели управления на основе данных. В качестве стратегических ориентиров определены достижение к 2030 г. высокой «цифровой зрелости» государственного и муниципального управления, ключевых отраслей экономики и социальной сферы, расширение использования технологий обработки больших данных и искусственного интеллекта, а также увеличение доли массовых социально значимых государственных и муниципальных услуг, предоставляемых в электронной форме, до 99% [14].

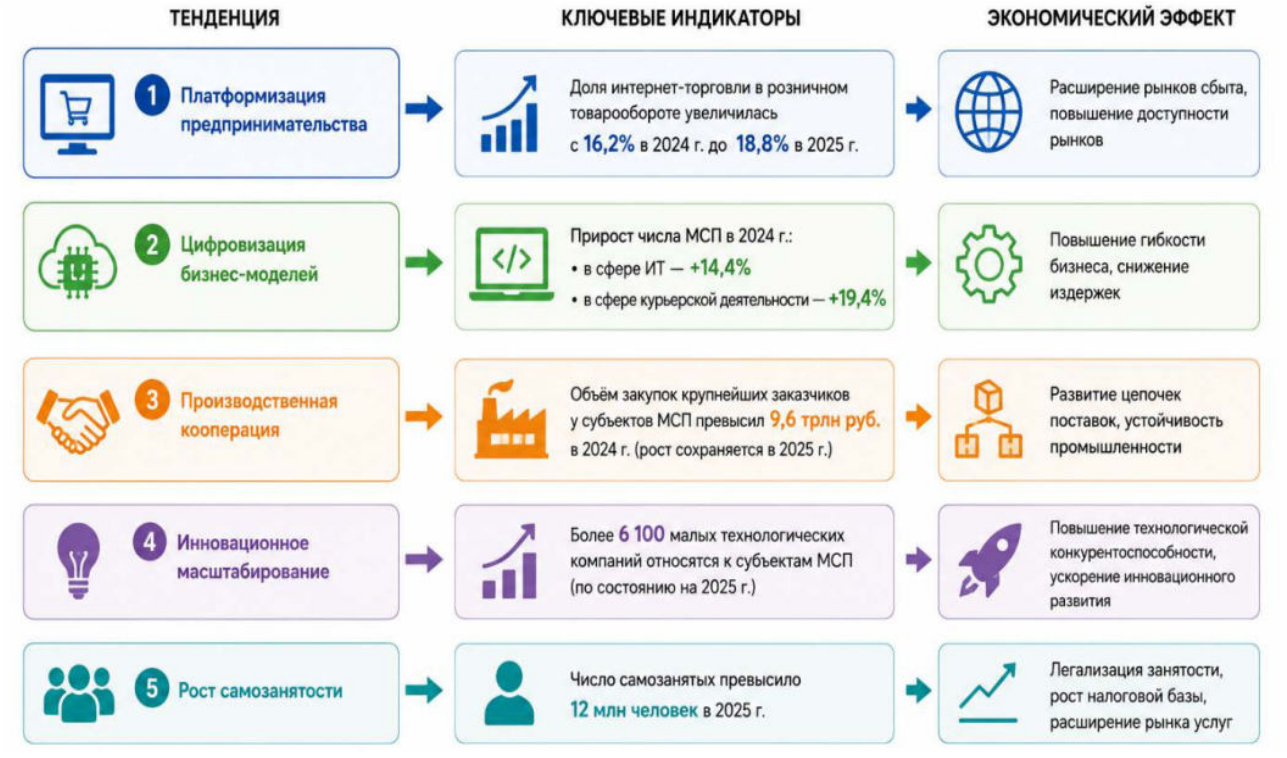


Рис. 1. Современные тенденции развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации [9-12]

Источник: составлено авторами на основе данных Ассоциации компаний интернет-торговли (АКИТ), Корпорации МСП, Федеральной налоговой службы Российской Федерации и аналитических материалов Минэкономразвития России.

Дополнительным фактором развития предпринимательской среды стало принятие в 2026 г. государственной программы «Развитие технологий искусственного интеллекта в Республике Татарстан на 2026–2030 годы». Программа направлена на создание условий для массового внедрения технологий искусственного интеллекта в реальный сектор экономики, государственное управление, науку и образование. В числе приоритетов определены развитие вычислительной инфраструктуры, подготовка кадров, реализация отраслевых проектов на основе искусственного интеллекта, обеспечение доступа бизнеса к вычислительным ресурсам и данным, а также формирование условий для технологического суверенитета и повышения цифровой зрелости ключевых отраслей экономики Республики Татарстан [15].

Не менее важным фактором развития предпринимательства выступает инфраструктурная среда. Анализ показал, что предприниматели нуждаются не только в финансовых ресурсах, но и в доступе к деловым контактам, отраслевой экспертизе, технологическим компетенциям и партнерским сетям. По этой причине эффективность инфраструктурной поддержки следует оценивать не количеством созданных объектов, а их способностью обеспечивать рост предприятий.

В настоящее время в Республике Татарстан действует разветвленная сеть организаций поддержки бизнеса. Следующим этапом ее развития может стать формирование специализированных центров предпринимательского роста, ориентированных на предприятия, находящиеся на стадии расширения деятельности. В отличие от традиционных консультационных структур такие центры должны сопровождать конкретные проекты развития бизнеса – от поиска источников финансирования до выхода на новые рынки (табл. 2).

Таблица 2

Основные направления развития инфраструктурной поддержки МСП [16, 17]

Предлагаемый механизм для Республики Татарстан	Аналог в Азии	Содержание модели	Ожидаемый эффект
Центр предпринимательского роста	SME Centres (Сингапур)	Комплексное сопровождение предприятий: диагностика бизнеса, консультации, помощь в получении государственной поддержки, повышение производительности и развитие компетенций.	Увеличение числа быстрорастущих компаний, повышение производительности МСП
Центр промышленной кооперации	K-Startup Centers (Южная Корея)	Интеграция стартапов и МСП с крупными корпорациями, акселераторами и инвесторами, сопровождение пилотных проектов (PoC), выход на международные рынки.	Расширение производственной кооперации и технологического партнерства
Экспортная инфраструктура	Global Business Centers (Южная Корея)	Создание зарубежной инфраструктуры для предприятий: офисы, консультации, поиск партнеров, сопровождение экспорта и выхода на новые рынки.	Рост экспортной активности субъектов МСП
Технологическая инфраструктура	SME Support Japan (Япония)	Инкубаторы, бизнес-хабы, взаимодействие университетов, исследовательских центров и предприятий, коммерциализация разработок.	Ускорение коммерциализации инноваций и развитие технологического предпринимательства

Анализ международного опыта показывает, что в странах Восточной Азии государственная поддержка малого и среднего предпринимательства постепенно смещается от предоставления преимущественно финансовых мер к формированию специализированной инфраструктуры сопровождения предприятий на различных стадиях их жизненного цикла. В Сингапуре функционирует сеть SME Centres, обеспечивающая комплексное консультирование, диагностику бизнеса и сопровождение предпринимателей при использовании государственных программ поддержки. В Республике Корея реализуются программы K-Startup Centers и Global Business Centers, ориентированные на масштабирование инновационных компаний, интеграцию МСП в глобальные цепочки создания стоимости и выход на зарубежные рынки. В Японии аналогичные функции выполняет организация SME Support Japan, объединяющая инкубаторы, центры коммерциализации технологий и инфраструктуру взаимодействия бизнеса с университетами.

Сравнение зарубежных практик позволяет сделать вывод, что дальнейшее развитие инфраструктуры поддержки малого и среднего предпринимательства в Республике Татарстан целесообразно ориентировать не столько на расширение перечня финансовых мер, сколько на создание институтов сопровождения предприятий роста, развитие цифровой производственной кооперации и укрепление взаимодействия между бизнесом, научно-образовательными организациями и институтами развития. Такой подход соответствует выявленным тенденциям цифровой трансформации предпринимательской среды и обеспечивает переход от поддержки отдельных проектов к развитию региональной предпринимательской экосистемы.

Выводы

Проведенное исследование показало, что развитие малого и среднего предпринимательства в современных условиях определяется прежде всего изменением качества предпринимательской среды. Анализ статистических данных свидетельствует о сохранении положительной динамики развития сектора МСП в Российской Федерации, сопровождающейся быстрым ростом числа самозанятых, расширением участия малого бизнеса в закупках крупнейших заказчиков и распространением цифровых форм ведения предпринимательской деятельности. Это позволяет говорить о переходе от традиционной модели поддержки предпринимательства к модели, основанной на цифровых сервисах, платформенных решениях и кооперационных связях.

Исследование Республики Татарстан подтвердило, что высокий уровень цифровой зрелости региона создает дополнительные возможности для развития малого и среднего предпринимательства. Развитие цифровой инфраструктуры, внедрение технологий искусственного интеллекта и реализация региональных государственных программ способствуют формированию условий, при которых государственная поддержка становится частью единой предпринимательской экосистемы, ориентированной не только на создание новых предприятий, но и на их дальнейшее развитие и масштабирование.

Полученные результаты позволили предложить концептуальную модель развития малого и среднего предпринимательства промышленно развитого региона, отражающую взаимосвязь цифровой трансформации, платформенных решений, производственной кооперации и механизмов государственной поддержки. Предложенная модель показывает, что наибольший эффект достигается при комплексном развитии этих элементов, а не при реализации отдельных мер поддержки.

Практическая ценность исследования заключается в обосновании направлений совершенствования региональной инфраструктуры поддержки МСП с учетом опыта стран Восточной Азии. Предлагаемые решения ориентированы на создание условий для роста предприятий, расширение производственной кооперации, развитие экспортной активности и ускорение коммерциализации инноваций. Их реализация может повысить эффективность региональной политики поддержки предпринимательства и усилить роль малого и среднего бизнеса в экономическом развитии промышленно развитых регионов.

Список литературы

1. Sagala G. H., Õri D. Toward SMEs digital transformation success: a systematic literature review. DOI: 10.1007/s10257-024-00682-2 // Information Systems and e-Business Management. – 2024. – Vol. 22. – P. 667–719.

2. Romero I., Mammadov H. Digital Transformation of Small and Medium-Sized Enterprises as an Innovation Process: A Holistic Study of its Determinants. DOI: 10.1007/s13132-024-02217-z // Journal of the Knowledge Economy. – 2025. – Vol. 16. – P. 8496–8523.

3. Lu H., Shaharudin M. S. Role of digital transformation for sustainable competitive advantage of SMEs: a systematic literature review. DOI: 10.1080/23311975.2024.2419489 // Cogent Business & Management. – 2024. – Vol. 11, № 1.

4. От платформ к институтам: цифровизация малого и среднего предпринимательства как фактор модернизации российской экономики // Проблемы экономики и юридической практики. – 2025. – Т. 21, № 3. – С. 288–294. DOI: 10.33693/2541-8025-2025-21-3-288-294.

5. Региональные аспекты влияния процессов цифровизации на развитие малого бизнеса // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 571–582. DOI: 10.18334/vinec.14.2.120913.

6. Бисултанова, А. А. Платформенные решения для малого и среднего бизнеса: потенциал и риски цифровой трансформации / А. А. Бисултанова // Управленческий учет. – 2025. DOI: 10.25806/uu-5803.

7. Количество юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, сведения о которых содержатся в Едином реестре субъектов малого и среднего предпринимательства // Федеральная налоговая служба Российской Федерации : официальный сайт. – URL: https://rmsp.nalog.ru/statistics.html (дата обращения: 30.07.2026).

8. Объем закупок госзаказчиков у малых технологических компаниях в 2025 году вырос на 13% и достиг… // Реестр малых технологических компаний : официальный сайт. – URL: https://rfi.mnr.gov.ru/news/news-rfi/obem-zakupok-goszakazchikov-u-malykh-tekhnologicheskikh-kompaniy-v-2025-godu-vyros-na-13-i-dostig-po (дата обращения: 30.07.2026).

9. 11,5 трлн рублей: АКИТ подвела итоги интернет-торговли за 2025 год // Ассоциация компаний интернет-торговли : официальный сайт. – URL: https://akit.ru/news/11-5-trln-rublej-akit-podvela-itogi-internet-torgovli-za-2025-god (дата обращения: 30.07.2026).

10. Больше всего МСП в 2024 году появилось в сфере трудоустройства, кинотелепроизводства, ИТ и курьерской деятельности // Корпорация МСП : официальный сайт. – URL: https://corpmsp.ru/about/press/news/novosti-korporatsii/bolshe-vsego-msp-v-2024-godu-poyavilos-v-sfere-trudoustroystva-kinoteleproizvodstve-it-i-v-kurerskoy/ (дата обращения: 30.07.2026).

11. Объем закупок госзаказчиков у малых технологических компаний в 2025 году вырос на 13 % // Реестр малых технологических компаний : официальный сайт. – URL: https://rfi.mnr.gov.ru/news/news-rfi/obem-zakupok-goszakazchikov-u-malykh-tekhnologicheskikh-kompaniy-v-2025-godu-vyros-na-13-i-dostig-po (дата обращения: 30.07.2026).

12. Статистика по налогу на профессиональный доход // Федеральная налоговая служба Российской Федерации : официальный сайт. – URL: https://npd.nalog.ru/statistics/ (дата обращения: 30.07.2026).

13. Татарстан стал одним из лидеров цифровой трансформации среди регионов РФ // Министерство цифрового развития государственного управления, информационных технологий и связи Республики Татарстан : официальный сайт. – URL: https://digital.tatarstan.ru/index.htm/news/2501986.htm (дата обращения: 30.07.2026).

14. Государственная программа Республики Татарстан «Цифровой Татарстан» : утв. постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 18.10.2021 № 980 (в ред. постановления от 16.06.2026 № 796). Доступ из справ.-правовой системы «ГАРАНТ».

15. Об утверждении государственной программы Республики Татарстан «Развитие технологий искусственного интеллекта в Республике Татарстан на 2026–2030 годы» : постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 07.03.2026 № 183. Доступ из справ.-правовой системы «ГАРАНТ».

16. SME Centres // Enterprise Singapore : official website. – URL: https://www.enterprisesg.gov.sg/about-us/contact-us/sme-centres (accessed: 30.07.2026).

17. K-Startup Centers // Ministry of SMEs and Startups of the Republic of Korea: official website. – URL: https://www.mss.go.kr/site/eng/ex/bbs/View.do?bcIdx=1067321&cbIdx=244 (accessed: 30.07.2026).

УДК 338

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ ПРОДУКТОВ СТАРТАПАМИ В ЭКОСИСТЕМЕ УНИВЕРСИТЕТСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

Шаймиева Э.Ш., д.э.н., доцент, профессор кафедры менеджмента и маркетинга Казанского инновационного университета им. В.Г. Тимирясова (ИЭУП), г. Казань;
ORCID: 0000-0002-9588-0199;
E-mail: shaimieva@ieml.ru;
Гумерова Г.И., д.э.н., профессор кафедры общего и проектного менеджмента Финансового университета при Правительстве РФ, г. Москва, Россия;
ORCID: 0000-0002-5198-7576;
E-mail: GIGumerova@fa.ru

DIGITAL TRANSFORMATION OF PRODUCT CREATION PROCESSES BY STARTUPS IN THE ECOSYSTEM OF UNIVERSITY TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP

Shaimieva E.Sh., Professor of the Department of Management and marketing, Doctor of Economics, Associate Professor, Kazan Innovation University named after V.G. Timiryasov (IEML), Kazan;
ORCID: 0000-0002-9588-0199;
E-mail: shaimieva@ieml.ru;
Gumerova G.I., Professor of the Department of general and project management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Doctor of Economics, Moscow, Russia;
E-mail: GIGumerova@fa.ru;
ORCID: 0000-0002-5198-7576

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы создания инновационного продукта университетским стартапом в контексте цифровой трансформации вуза в экосистему университетского технологического предпринимательства. Данный процесс проанализирован от этапа зарождения идеи продукта до этапа масштабирования через этапы его валидации, акселерации по следующим критериям: основная цель, ключевые субъекты, инфраструктура, отношение к рискам, фокус внимания, управление объектами интеллектуальной собственности, субъекты взаимодействия, основной результат. В качестве нормативно-методической базой исследования является «Стандарт инновационной образовательной среды (кампусов)», где представлено основное определение термина «экосистемы университетского технологического предпринимательства». Цель, задачи: рассмотрение вопросов в области создания продуктов университетскими стартап-командами в контексте цифровой трансформации вуза в экосистему университетского технологического предпринимательства. Методы исследования: анализ, синтез, классифицирование. Результаты: показано, что вуз из источника генерации идей трансформируется в экосистему университетского технологического предпринимательства; сущность экосистемы университетского технологического предпринимательства заключается в способности развития продуктов с минимальной жизнеспособностью, в способности минимизации рисков с учетом вовлечения в процесс создания инновационного продукта значительного числа стейкхолдеров.

Ключевые слова: экосистема университетского технологического предпринимательства, цифровая трансформация, Индустрия 4.0, Университет 4.0, университетский стартап, инновационный продукт

Abstract

The article discusses the creation of an innovative product by a university startup in the context of the digital transformation of a university into an ecosystem of university technological entrepreneurship. This process is analyzed from the stage of product idea generation to the stage of scaling through the stages of its validation and acceleration according to the following criteria: the main goal, key actors, infrastructure, attitude to risks, focus of attention, management of intellectual property objects, subjects of interaction, the main result. The normative and methodological basis of the research is the "Standard of innovative educational environment (campuses)", which presents the main definition of the term "ecosystems of university technological entrepreneurship". Purpose, objectives: to consider issues in the field of product creation by university startup teams in the context of the digital transformation of the university into the ecosystem of university technological entrepreneurship. Research methods: analysis, synthesis, classification. Results: it is shown that the university is transformed from a source of idea generation into an ecosystem of university technological entrepreneurship; the essence of the ecosystem of university technological entrepreneurship lies in the ability to develop products with minimal viability, in the ability to minimize risks, taking into account the involvement of a significant number of stakeholders in the process of creating an innovative product.

Keywords: ecosystem of university technological entrepreneurship, digital transformation, Industry 4.0, University 4.0, university startup, innovative product

Введение

Экосистемный подход к цифровой трансформации экономики, образования, включающий сетевое взаимодействие индустриальных партнеров с вузами, обеспечивают актуальность исследования вопросов создания продуктов в рамках данного взаимодействия, с научно-теоретической и прикладных точек зрения [1]. Одним из результатов влияния Индустрии 4.0 на университетское образование является трансформация вуза из источника знаний в образовательную, предпринимательскую экосистему, выступающую полноправным агентом в процессе создания инновационных продуктов, которые способны эффективно решать экономические, социальные вопросы региона [2].

Цель и задачи исследования заключаются в рассмотрении вопросов в области создания продуктов университетскими стартап-командами в контексте цифровой трансформации вуза в экосистему университетского технологического предпринимательства.

Методика исследования: общенаучные методы, включая анализ теоретической литературы.

Основная часть

В работе Сорокина П.С. и соавторов, исследующих вопросы значения преподавателя в экосистеме университетского предпринимательства, отмечены факторы, повышающие роль преподавателя в процессе развития экосистемы и создания – в том числе – инновационных продуктов: во-первых, это усиление ее роли в контексте интеграции в образовательный, исследовательский процесс; во-вторых, «…включённость преподавателя в социально-гуманитарную (а не исключительно естественно-научную или инженерную)…» среду [3, с. 68, 83]. В данном случае речь идет о значении гибких навыков проектной работы, опирающейся на междисциплинарность, что имеет в процессе цифровой трансформации образования решающее значение для успешности создания продукта университетского стартапа.

В работе Кирилловой Э.Р. и соавторов, созданной по результату участия и победы в первом медицинском акселераторе Казанского государственного медицинского университета «Казанский медицинский стартап», отмечена роль непрофильного инвестирования «на уровне идеи», «…когда еще не разработан подробный бизнес-план проекта, но ведутся активные исследования: тестируется прототип, проводится маркетинговый анализ, анализируются возможности приобретения патента и защиты интеллектуальной собственности. В этих усло-

виях одной из ключевых будет роль университета в развитии начальных этапов технологического предпринимательства…» [4, с. 299].

В работе Masoumi E. и соавторов рассматриваются вопросы эффективности технологических стартапов в университетских предпринимательских экосистемах, с формированием совокупности показателей, на примере провинции Голестан (Иран) [5]. В работе сформулированы предложения по развитию технологических стартапов, компонентов предпринимательской экосистемы на университетском уровне, с обоснованием необходимости фокусирования образовательных и исследовательских функций в предпринимательских экосистемах вузов на развитие технологий, объединяющих промышленность с университетом.

В работе Wright M. и соавторов исследуются вопросы в области сущности университетской экосистемы, позволяющей запускать успешные стартапы. Согласно разработке авторов, элементы университетской экосистемы включают университетские механизмы, способствующие предпринимательству студентов, непрерывность участия от предакселераторов до акселераторов; участие различных предпринимателей, участников поддержки и инвесторов; особый характер университетской среды и внешнего контекста; механизмы финансирования [6].

Исследователи Ziakis C. и соавторы рассматривают вопросы успешности университетских стартапов на системной основе, в практике греческих вузовских стартапов. К числу факторов, влияющих на анализируемый процесс, авторами отнесены: государственные вопросы, такие как налоговые льготы и ускорение процедур запуска, наличие возможностей финансирования, взаимодействие заинтересованных сторон, обучение предпринимательству, предыдущий опыт запуска, поддержка инкубатора, а также наставничество [7].

В работе Crowne M. исследовательское внимание уделено рискам, которые сопровождают процесс и результат деятельности стартапов, создающих программные продукты. В работе представлена модель эволюции разработки продукта от запуска до зрелости, состоящая из трех этапов: запуск, стабилизация и рост, обсуждаются симптомы, которые могут проявляться на каждом этапе, и анализируются основные проблемы [8].

В настоящей работ выделим процессы создания продуктов на базе вуза, в его традиционном понимании, и экосистеме университетского технологического предпринимательства (табл. 1).

Под «экосистемой технологического предпринимательства» понимается «…совокупность взаимосвязанных элементов (субъектов, компетенций, типов деятельности, сервисов, инфраструктур), включающих в себя элементы региональной инновационной инфраструктуры, нацеленных на создание инновационных продуктов и сервисов, формирование новых рынков, диверсификацию существующих экономических и технологических моделей, создание компаний продуктового, сервисного или контрактного производственного направления на основе сетевых принципов и установления партнерств разной формы организации для поддержания стратегии региона и технологического развития страны….» [9] (табл. 1).

Процесс создания продукта включает этапы от зарождения идеи инновационного продукта до его масштабирования (табл. 1).

На основе анализа процесса создания продукта в вузе в его традиционном понимании и экосистеме университетского технологического предпринимательства как результата развития Университета 4.0 необходимо отметить, что вуз, как правило, эффективен на первом этапе, выступая источником идей для создания новых продуктов, на основе собственных фундаментальных разработок (табл. 1). Однако в процессе продвижения идеи продукта университетского стартапа критическую роль играет экосистема, которая заменяет академические показатели на рыночные или социально-экономические; бюрократию – на гибкость (напр., вопросы управления ОИС), государственное финансирование – на венчурный капитал, капитал бизнес-ангелов и др. Успешный стартап-продукт формируется в результате бесшовного перехода из зоны ответственности вуза в зону ответственности экосистемы. «Бесшовность» данного перехода опирается, в частности, на сущность «Стандарта инновационной образовательной среды (кампусов)», детализирующего данный процесс по следующим блокам: интеграция образования, науки и предпринимательства; проектное обучение на реальных кейсах;

развитие инфраструктуры трансфера технологий; культура предпринимательства; создание спинн-офф компаний и малых инновационных предприятий; сетевое взаимодействие.

Таблица 1

Создание продукта в формате «вуз» vs «экосистема университетского технологического предпринимательства»

Критерий	Университет (традиционный формат толкования)	Экосистема университетского технологического предпринимательства
Этап зарождения идеи инновационного продукта		
Основная цель	НИОКР, защита ОИС, защита диссертаций	выявление рыночных «болей», трансформация научного результата в бизнес-гипотезу, оценка коммерческого потенциала продукта стартапа
2. Ключевые субъекты	научные руководители, студенты, аспиранты, НИИ партнеров вуза	менторы-предприниматели, стартап-студии, акселерационные платформы
3. Инфраструктура	Библиотеки, лаборатории стационарные	хакатоны, базы данных патентов, нетворкинг-площадки
Этап валидации (создания MVP продукта)		
4. Отношение к рискам	минимизация риска: научная методология, проверка гипотез теоретически (лабораторным способом)	принятие неопределенности как условия рынка и возможностей; тестирование продукта на этапе MVP
5. Фокус внимания	технологическая реализуемость: соответствие ТЗ	рыночная жизнеспособность: готов ли заказчик оплачивать продукт?
6. Управление ОИС	бюрократическая (многоступенчатая) фиксация прав вуза	быстрое оформление прав (РЦИС.РФ, Роспатент)
Этап акселерации		
7. Субъекты взаимодействия	деканат, лаборатории вуза, НИИ	венчурные фонды, технопарки, акселерационные платформы, наставники индустриальных партнеров вузов
Этап масштабирования		
8. Основной результат	отчетность по выполнению задания	создание стартап-компании; портфель патентов университета; сотрудничество университета с высокотехнологичными компаниями; проводимые университетом испытания; инновационная инфраструктура университета, предприятия университета, социальное предпринимательство

НИОКР – научно-исследовательское опытно-конструкторские работы; НИИ – научно-исследовательский институт; ОИС – объект интеллектуальной собственности; РЦИС.РФ- Российский центр оборота прав на результаты творческой деятельности; MVP – (Minimum Viable Product) минимально жизнеспособный продукт

Источник: на основе Национальный рейтинг университетов Интерфакс 2026 Параметрический рейтинг Инновации / Предпринимательство, [9].

Необходимо отметить, что в настоящей работе рассмотрены критические позиции «вуза» в его традиционном формате, «экосистемы университетского предпринимательства» как успешной функционирующей экосистемы. Однако на практике развиваются «университетские экосистемы»: отсюда цифровая трансформация включает следующую траекторию развития: вуз – университетская экосистема – предпринимательская экосистема вуза. Данная тематика исследуется в работе Vespery W., Gagnidze I., где анализируемая трансформация является драйвером развития локальной экономики. В результате в работе Vespery W., Gagnidze I. развитие находят такие понятия как «студенты-предприниматели», «эффективность экосистемы университетского предпринимательства» [10].

Выводы

В завершении исследования можно сделать следующие выводы: во-первых, в процессе цифровой трансформации происходит преобразование вуза из источника генерации идей в экосистему университетского технологического предпринимательства, где взаимосвязь стейкхолдеров процесса создания продукта университетскими стартапами отражается в стандартах инновационной образовательной среды (кампусов); во-вторых, сущность экосистемы университетского технологического предпринимательства заключается в способности развития продуктов с минимальной жизнеспособностью, что означает возможность применения на рынке данного продукта как по прямому назначению, так и в смежных отраслях, а также в способности минимизации рисков с учетом вовлечения в процесс создания инновационного продукта значительного числа стейкхолдеров с этапа зарождения идеи стартапа. Данная возможность является результатом сетевого (экосистемного) взаимодействия, когда потенциал, права и обязанности каждого из заинтересованных сторон отражаются от этапа зарождения идеи продукта университетского стартапа до его масштабирования.

Список литературы

1. Исаева, А. Э. Инновационная цифровая образовательная экосистема как база перехода к Индустрии 4.0 / А. Э. Исаева // Государственное управление. Электронный вестник. – 2023. – № 96. – С. 177-192. – DOI 10.24412/2070-1381-2023-96-177-192. – EDN LIZIAL.

2. Ситжанова А. М. Исследование экосистемы предпринимательства и инноваций в высших учебных заведениях / А. М. Ситжанова, Р. М. Прытков // Научный результат. Экономические исследования. – 2025. – Т. 11, № 2. – С. 106-123. – DOI 10.18413/2409-1634-2025-11-2-0-9. – EDN PSQDXB.

3. Сорокин, П. С. Роль и место преподавателя в экосистеме университетского предпринимательства: российский опыт / П. С. Сорокин, Е. В. Морозова, М. Е. Гошин, В. Д. Новикова // Высшее образование в России. – 2026. – Т. 35, №3. – С. 63–89. – DOI: 10.31992/0869-3617- 2026-35-3-63-89

4. Успешный опыт технологического предпринимательства в рамках студенческого стартап-проекта, выполненного на базе Казанского государственного медицинского университета при грантовой поддержке Фонда содействия инновациям / Э. Р. Кириллова, Н. Г. Шамсутдинова, В. А. Курсина [и др.] // Технологическое предпринимательство: пространство высших компетенций : сборник материалов XVIII Российского венчурного форума, Казань, 25–26 апреля 2024 года. – Казань : Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан, 2024. – С. 297-302. – EDN IBIJRK.

5. Masoumi E., Mohammad Salehi M., Taghvaeeyazdi M. Technology Startups and University-Based Entrepreneurial Ecosystems in the Universities of Golestan Province / International Journal of Information Science and Management Vol. 20, № 2, 2022, 145-165 https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088302.2022.20.2.9.4

6. Wright M., Siegel, D.S. Mustar, P. An emerging ecosystem for student start-ups. J Technol Transf 42, 909–922 (2017). https://doi.org/10.1007/s10961-017-9558-z

7. Ziakis C., Vlachopoulou, M.; Petridis, K. Start-Up Ecosystem (StUpEco): A Conceptual Framework and Empirical Research. J. Open Innov. Technol. Mark. Complex. 2022, 8, 35. https://doi.org/10.3390/ joitmc8010035.

8. Crowne M. Why software product startups fail and what to do about it. Evolution of software product development in startup companies, *IEEE International Engineering Management Conference*, Cambridge, UK, 2002, pp. 338-343 vol.1, doi: 10.1109/IEMC.2002.1038454.

9. Стандарт инновационной образовательной среды (кампусов) (утв. Минобрнауки России 12.12.2024) (Дата введения 01.01.2025) // https://clck.ru/3V4Lgd (дата обращения 02.082026).

10. Vespery W., Gagnidze I. From the university ecosystem to the entrepreneurial ecosystem – the way for developing the local economy.2023. International Journal of Economics and Business Research Vol. 25, № 4.

УДК 316.013

ЦИФРОВАЯ ИНФРАСТРУКТУРА И МИГРАЦИОННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ МОЛОДЕЖИ СРЕДНИХ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН (НА МАТЕРИАЛАХ КОНКРЕТНО-СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

Швецов Л.К., аспирант Центра перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан;
Хайруллина Ю.Р., д.с.н., профессор, главный научный сотрудник Центра перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан; главный научный сотрудник Центра семьи и демографии Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия

DIGITAL INFRASTRUCTURE AND MIGRATION STABILITY OF YOUTH IN MEDIUM-SIZED CITIES OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Shvetsov L.K., Post-graduate student, Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
Khayrullina Yu.R., Doctor of Sociological Sciences, Professor; Chief Researcher at the Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Chief Researcher at the Family and demography center of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia

Аннотация

В рамках статьи рассматривается роль цифровой инфраструктуры как фактора молодежных миграций из средних городов Республики Татарстан. На основании авторской методики по оценке цифровой инфраструктуры и данных массового анкетирования (n=1122 по выборке среди молодежи от 14 до 35 лет в таких городах, как Бугульма, Лениногорск, Елабуга, Чистополь, Зеленодольск) выявлена устойчивая тенденция – развитие цифровой инфраструктуры признается в качестве меры по снижению интенсивности молодежных миграций из средних городов, но не приоритетной. Зафиксирован разрыв между культурными представлениями о значимости цифровизации и настоящими приоритетами респондентов. Интерпретация результатов осуществлена через призму теории «Третьей волны» Э.Тоффлера.

Ключевые слова: цифровая инфраструктура, цифровизация, молодежные миграции, средние города, Вторая волна, Третья волна

Abstract

The article examines the role of digital infrastructure as a factor in youth migration from medium-sized cities of the Republic of Tatarstan. Based on the author's methodology for assessing digital

infrastructure and mass survey data (n=1122 based on a sample among young people from 14 to 35 years old in cities such as Bugulma, Leninogorsk, Elabuga, Chistopol, Zelenodolsk), a stable trend has been identified – the development of digital infrastructure is recognized as a measure to reduce the intensity of youth migration from medium-sized cities, but not a priority. A gap was recorded between cultural ideas about the importance of digitalization and the real priorities of respondents. The interpretation of the results was carried out through the prism of the «Third Wave» theory of E. Toffler.

Keywords: digital infrastructure, digitalization, youth migration, medium-sized cities, Second wave, Third wave

Введение

В рамках более ранних авторских социолого-демографических исследований по изучению проблематики молодежных миграций из средних городов Республики Татарстан была выдвинута рабочая гипотеза о взаимозависимости степени развитости цифровой инфраструктуры с интенсивностью молодежных миграций из средних городов. В качестве теоретико-методологических подходов использовались зарубежные исследования таких китайских ученых, как Цян Чэнь, Пин Ци, Ланьфан Дэн, которые выявили, что для трудовых мигрантов одним из факторов привлекательности возврата в свою родную провинцию является цифровая экономика. Хотя этот термин значительно уже, но содержит в себе часть компонентов понятия «цифровая инфраструктура» [1]. В рамках ранних работ была опора и на отечественные аналитические данные и рейтинги этой сферы. Однако проблема в том, что в них не раскрывается методология построения индексов, не берутся во внимание именно средние города [2, 3].

Именно поэтому нами была разработана собственная количественно-качественная социологическая методика оценки цифровой инфраструктуры средних городов РТ. Выделив ключевые аспекты цифровой инфраструктуры, нами был произведен контент-анализ стратегий социально-экономического развития таких городов, как Чистополь, Лениногорск, Елабуга. После чего им были присвоены баллы в качестве индикатора развития цифровой инфраструктуры, и затем все было сопоставлено с интенсивностями оттока молодежи во всех рассматриваемых городах. Полученные данные показали отсутствие непосредственного влияния качества цифровой инфраструктуры. Тем не менее, было сделано заключение о необходимости комплексной апробации данной гипотезы дополнительными точными методами, а также о целесообразности отдельного изучения «цифровой коммерческой инфраструктуры», поскольку анализ стратегий социально-экономического развития позволял фиксировать в этом плане только муниципальную цифровую инфраструктуру [4].

Данная работа, в сравнении с предшествующей, выпущенной в рамках Kazan Digital Week 2025, это существенный шаг в дальнейшем изучении в рамках прикладной социологии и демографии, апробации гипотез о влиянии цифровых инфраструктур на динамику молодежных миграций из средних городов Республики Татарстан на результатах авторского эмпирического исследования, производимого путем массового анкетирования (n=1122) в средних городах Республики Татарстан. Полученные данные углубили и расширили положения и выводы контент-анализа и аналитики статистических данных о миграциях 2025 г. конкретными фактическими цифрами массового социологического опроса по авторской анкете.

Основная часть. Демаркация ключевых понятий работы

Обозначим, что под цифровой муниципальной инфраструктурой мы понимаем интернет со связью, электронные государственные услуги и МФЦ, электронное здравоохранение, покрытие интернетом социальных учреждений, координацию и системной процессов цифровизации. Важно заметить, что часто речь идет не только о наличии указанных элементов, но прежде всего о степени их развитости и качестве. Под коммерческой цифровой инфраструктурой мы подразумеваем наличие и развитость цифровых сервисов по типу автоматизированной онлайн доставки еды, маркетплейсов, онлайн вызова такси, онлайн каршеринга, и так далее.

Методика, инструментарий

В исследовании была применена комплексная количественно- качественная методика, включающая совокупность социологических исследований: массовый опрос, экспертное интервью, контент-анализ, что обеспечивает обоснованность и достоверность полученных положений и выводов. Опрос был осуществлен в рамках массового анкетирования (n=1122) по авторской анкете, включающей 43 вопроса открытого и закрытого характера среди молодежи от 14 до 35 лет (Бугульма, Лениногорск, Елабуга, Чистополь, Зеленодольск). Выборочная совокупность построена согласно общепринятой социологической методике [5]. В своих пропорциях выборка отталкивалась от половозрастного состава населения средних городов Республики Татарстан (N=100 821), информация о котором доступна для анализа в рамках Статистического сборника Татарстанстата (начало 2024 г.) [6].

Математические методы и технологии

Массовый онлайн-опрос проведен по авторской анкете на базе платформы «Яндекс. Формы». Обработка данных проводилась с применением программы Excel 2024.

Результаты произведенного исследования

В первую очередь, следует сказать, что на уровне своих «культурных представлений» 48,7% опрошенных полагают, что наличие развитой коммерческой цифровой инфраструктуры может влиять на интенсивность молодежных миграций. Характерно при этом, что 30,7% затрудняются ответить на данный вопрос. 53,2% опрошенных так или иначе считают, что развитая цифровая муниципальная инфраструктура может снижать отток молодежи, затрудняются ответить 33,2% (рис. 1).

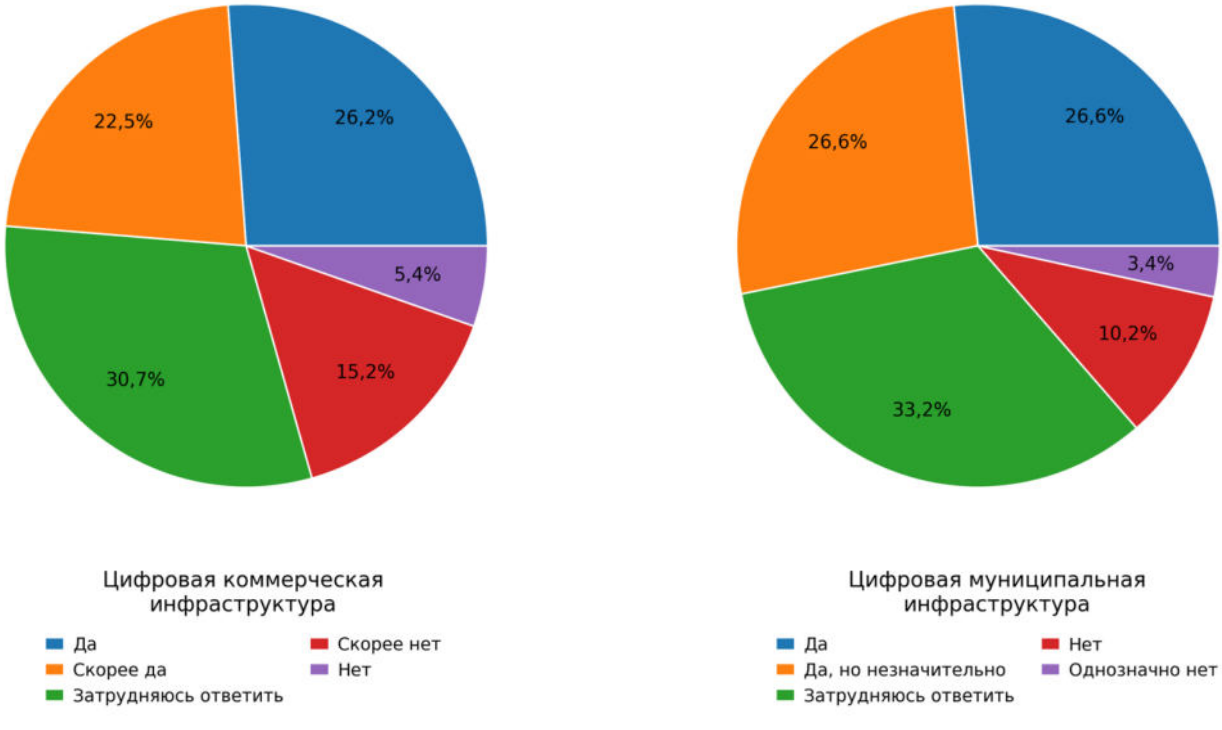


Рис. 1. Оценка роли цифровой инфраструктуры в снижении интенсивности молодежных миграций

Отвечая на вопрос «Какие сферы следовало бы развивать для снижения оттока молодежи из средних городов?» (можно было выбирать не более 5 вариантов), цифровой коммерческий сектор отметили только 12,8% опрошенных, а цифровой муниципальный сектор – 10,4%. Из этого следует, что развитая цифровая инфраструктура признается в качестве возможной меры, но ее приоритетность среди прочих достаточно низкая (рис. 2).

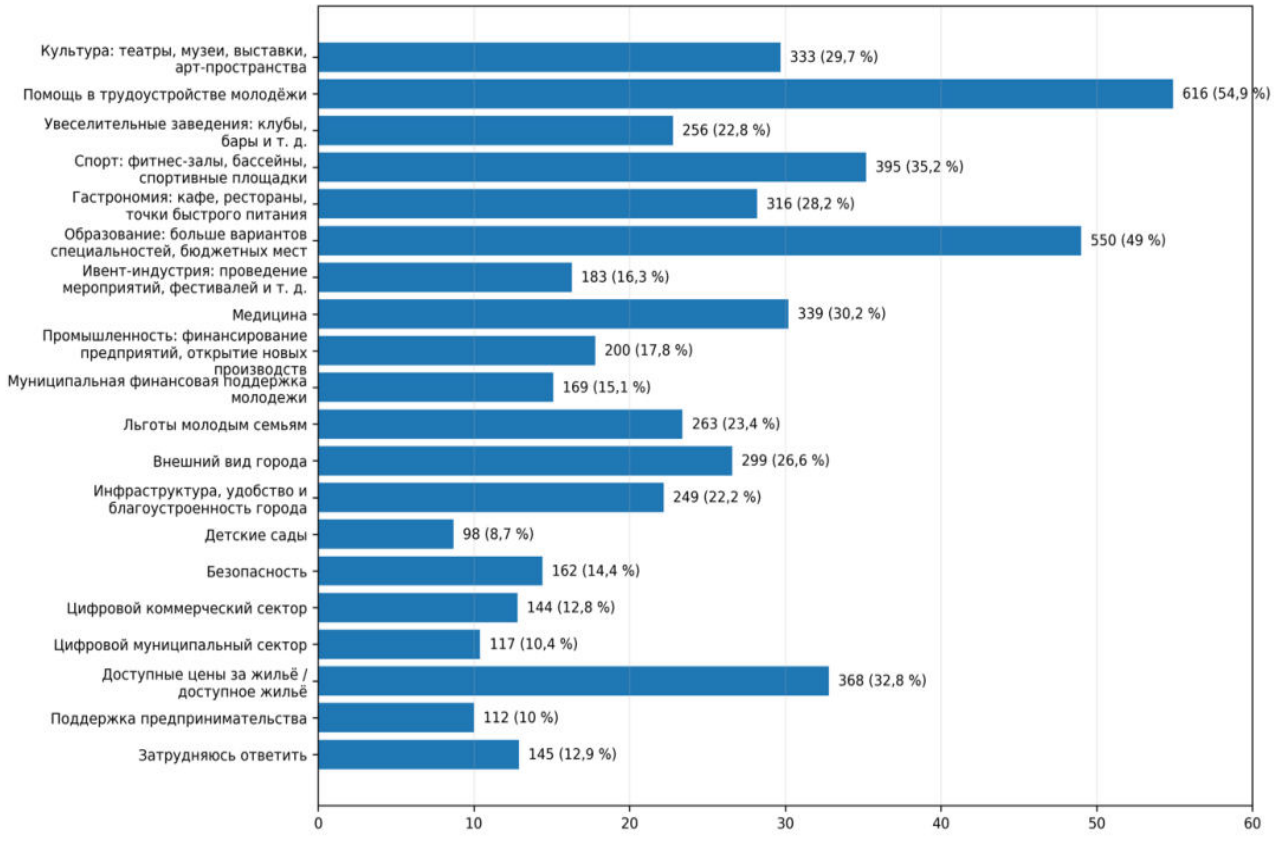


Рис. 2. Рейтинг сфер, которые следовало бы развивать для снижения интенсивности молодежных миграций из средних городов РТ

Лидирующие позиции занимают:

1. Помощь в трудоустройстве молодёжи (54,9%);
2. Образование с более широким кругом специальностей и бюджетными местами (49%);
3. Спорт (35,2%);
4. Доступное жилье (32,8%);
5. Медицина (30,2%).

Иными словами, респонденты, выбирающие цифровую инфраструктуру, это своего рода «максималисты», выступающие за всестороннее развитие своих городов во всех сферах. В целом, все это может указывать также на гало-эффект.

Отдельно стоит описать дифференциацию отношения к данным мерам снижения интенсивности миграций по возрастным когортам (рис. 3). Развитую цифровую коммерческую инфраструктуру как важную меру по снижению степени интенсивности молодежных миграций выбирают в рамках отдельных возрастных когорт молодежи: от 18 до 24 лет – 53,6%; от 25 до 35 лет – 46,9%; от 14 до 17 лет – 43,5%.

В свою очередь, применительно к уже цифровой муниципальной инфраструктуре как предпочтительной мере, картина при дифференциации по возрастным когортам складывается следующим образом: от 25 до 35 лет – 57%; от 18 до 24 лет – 55%; от 14 до 17 лет – 47,9%.

Всюду наблюдаются очень незначительные расхождения по возрастному признаку. Отсюда следует предположить, что в любой возрастной когорте у молодежи может быть примерно одинаковое отношение к цифровой инфраструктуре как к мере по снижению миграций из средних городов. Возможно, такой эффект может быть обусловлен тем, что многие аспекты цифровизации одинаково плотно вплетены в социальную жизнь всех существующих ныне молодежных поколений.

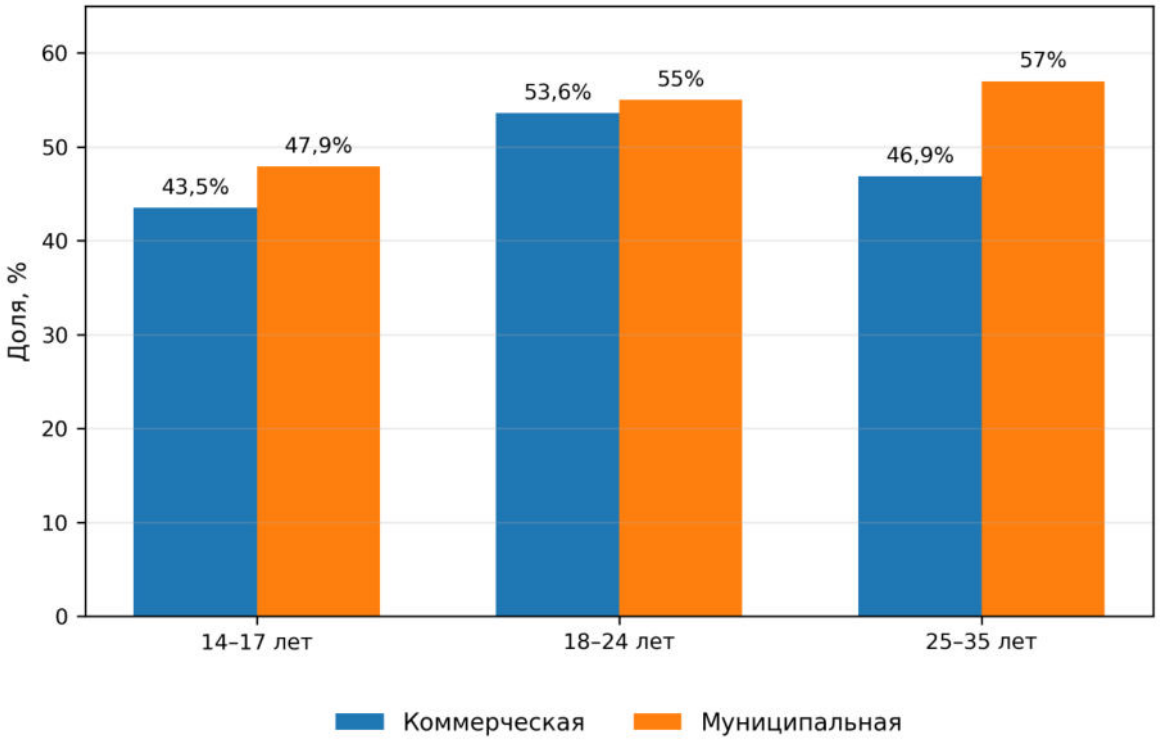


Рис. 3. Предпочтения видов цифровой инфраструктуры в качестве меры по снижению интенсивности молодежных миграций по возрастным когортам

Нельзя обойти стороной дифференциацию оценок между городами (рис. 4, 5). Мнение опрошенных о цифровой коммерческой инфраструктуре как предпочтительной мере по снижению интенсивности молодежных миграций из средних городов распределилось следующим образом: Елабуга (57,6%), Зеленодольск (54,2%), Лениногорск (48,6%), Бугульма (44,5%), Чистополь (42,3%).

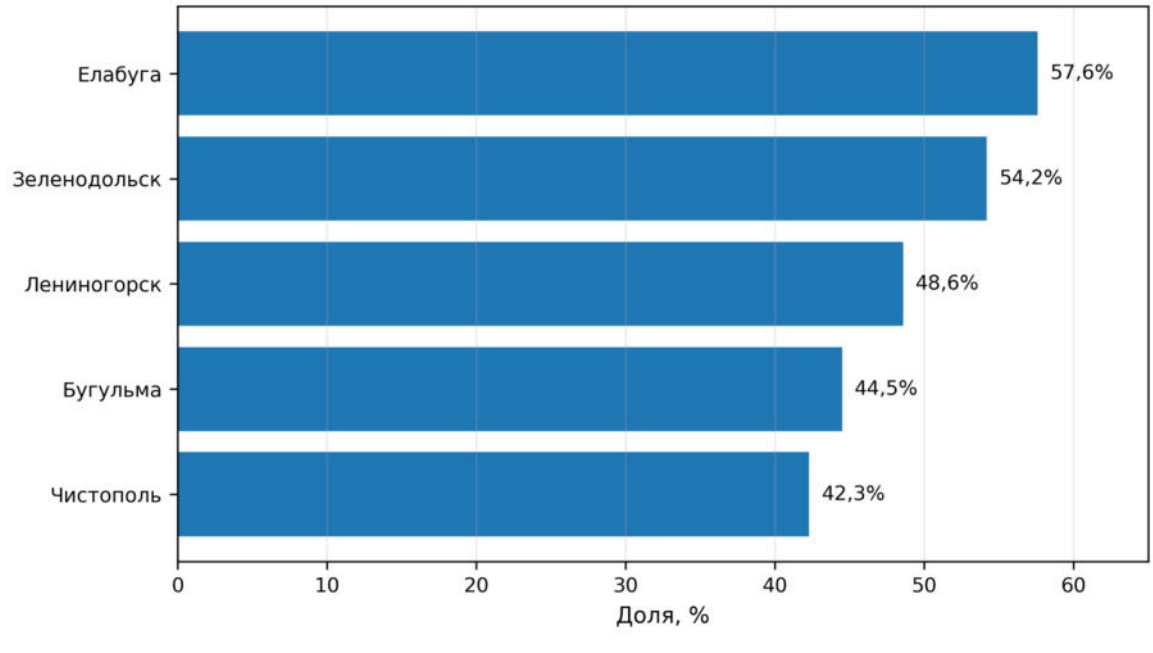


Рис. 4. Оценка цифровой коммерческой инфраструктуры в качестве меры по снижению интенсивности молодежных миграций в разбивке по городам

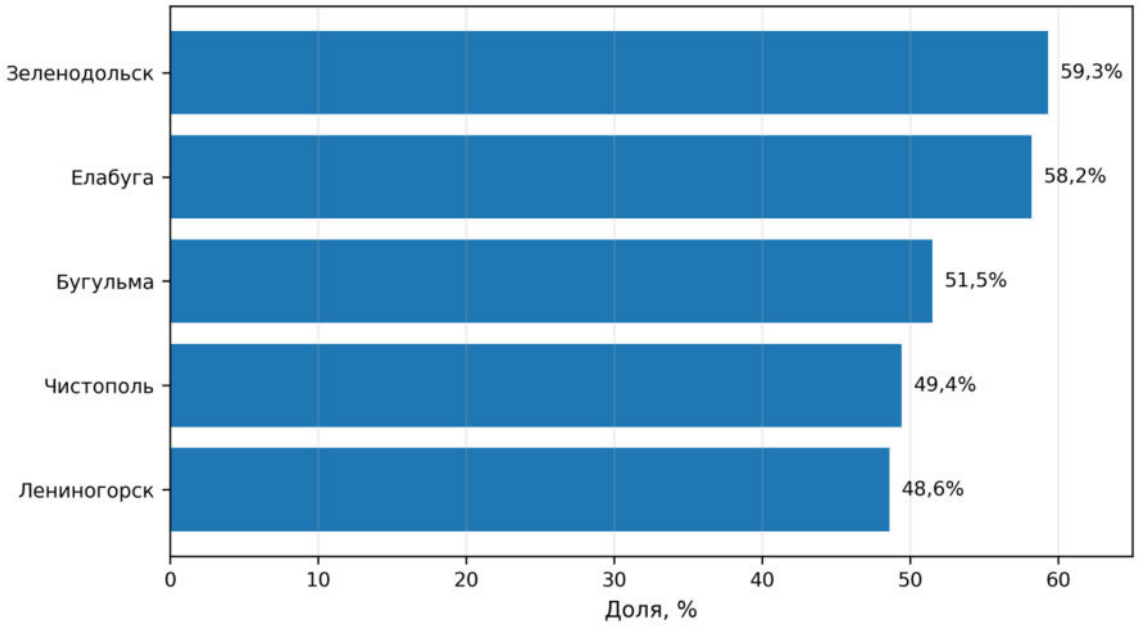


Рис. 5. Оценка муниципальной коммерческой инфраструктуры в качестве меры по снижению интенсивности молодежных миграций в разбивке по городам

В свою очередь, касаемо муниципальной цифровой инфраструктуры, распределение наблюдается немного иное: Зеленодольск (59,3%), Елабуга (58,2%), Бугульма (51,5%), Чистополь (49,4%), Лениногорск (48,6%).

Применительно к цифровой коммерческой инфраструктуре можно предположить, что лидерство предпочтений респондентов Елабуги в рамках нашей выборки обуславливается более активной технологичной повесткой, которая явно присутствует в этом городе ввиду наличия особой экономической зоны «Алабуга». Возможно, что описанное влияет на ожидания елабужской молодежи. В этом плане не сильно отстает Зеленодольск. Вероятно, что в связи с предельной близостью к столице Татарстана, городу Казань, имеются ожидания от городской среды в виде наличия развитой цифровой коммерческой инфраструктуры.

Как писалось выше, получение образования и трудоустройство – наиболее часто встречающиеся факторы, стимулирующие миграцию в рамках нашей выборки. Де-факто данное положение является аксиомой в исследованиях молодежных миграций. Наше исследование идеально воспроизводит данное положение.

Методологическая интерпретация результатов

Для методологического осмысления полученных результатов может послужить теория «Третья волна» Элвина Тоффлера. Фактически под «Третьей волной» Тоффлером понимается существующая ныне постиндустриальная эпоха с характерной ей цифровизацией, экономикой знаний, «демассификацией», неуклонно растущим феноменом одиночества, распадом многих институтов, свойственных индустриальной эпохе – или, пользуясь терминологией автора, свойственных «Второй волне» [7].

Опрометчивым будет полагать, что поскольку не наблюдается подавляющего запроса на цифровые инфраструктуры у молодежи в качестве меры по снижению темпов миграции, теория «Третья волна» не работает. Технологический скачок и цифровизация действительно совершенно по-новому перестраивают все социальные структуры.

Однако во многом куда сильнее это может выражаться в желании получить образование, соответствующее всем современным тенденциям и специализациям. Средние города как правило предлагают очень ограниченное число специализаций, на которые можно было бы обучиться, и многие из них подчинены индустриальной логике, «Второй волне».

Вероятно, молодые люди чаще хотят участвовать в экономике знаний, отдавать предпочтение умственному и более абстрактному труду, нежели работать в рамках индустриальных должностей.

Отсюда следует, что никакого противоречия с «волновой теорией» Тоффлера и полученными данными, вероятно, нет. Дефицит многих современных образовательных программ, а также современных сфер применения труда – аксиоматичен в социальной реальности средних городов.

Иными словами, всё то, что может дать цифровая инфраструктура – желательно для молодежи на уровне культурных ожиданий. Но, к сожалению, наш анализ явно указывает на то, что скорее всего, это не будет служить существенным фактором удержания.

Заключение

В рамках проведенного исследования можно констатировать так называемое «столкновение волн». Социализация осуществляется не только при помощи членов семьи, чьи ценности и убеждения могут быть более консервативны. Социализация происходит также и на уровне взаимодействия с медиа. Развитие и общедоступность интернет-коммуникаций открыло для молодых людей множество различных идей, количество и вариативность которых ранее была недоступна людям «Второй волны». Многие ценности и принципы, свойственные современной эпохе, могли быть интернализованы именно подобным образом. В результате, не находя применения своим ориентациям в средних городах, молодежь их покидает, или имеет более или менее четкие миграционные установки.

Отметим, что гипотеза о том, что развитие цифровой инфраструктуры может помочь в снижении интенсивности молодежных миграций из средних городов, получила частичное подтверждение, хотя в рейтинге сфер, которые стоило бы прежде всего улучшать для решения проблемы, по мнению опрошенных, она не занимает первые места. В то же время, в системе мер противодействия молодежной миграции из средних городов РТ развитие цифровой инфраструктуры, наряду с доступностью широкого спектра высшего онлайн- и офлайн образования являются важным востребованным вектором.

Список литературы

1. Chen Q, Qi P and Deng L (2024) Stay or return? The role of city environment and digital economy in migrants in China. *Front. Environ. Sci.* 11:1322955. doi: 10.3389/fenvs.2023.1322955.

2. Официальный веб-сайт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, пресс-релиз от 14.06.2024 [Электронный источник]. – URL: https://minstroyrf.gov.ru/press/podvedeny-itogi-raschyeta-indeksa-iq-gorodov-po-itogam-2023-goda/ (дата обращения: 19.07.2026).

3. Официальный веб-сайт «Школы управления Сколково», страница с описанием индекса “Цифровая Россия” [Электронный источник]. – URL: https://www.skolkovo.ru/researches/indeks-cifrovaya-rossiya/ (дата обращения: 19.07.2026).

4. Швецов, Л. К. Роль развитости цифровой инфраструктуры в обеспечении миграционной стабильности молодежи средних городов (на примере Республики Татарстан) / Л. К. Швецов, Ю. Р. Хайруллина // Международный форум Kazan Digital Week – 2025 : Сборник материалов, Казань, 17–19 сентября 2025 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2025. – С. 702-708. – EDN HMZIZE.

5. Зборовский, Г. Е. Эмпирическая социология : учеб. для вузов / Г. Е. Зборовский, Е. А. Шуклина ; бюджет. учреждение высш. образования ХМАО – Югры «Сургут. гос. пед. ун-т» ; Федер. гос. авт. образоват. учреждение высш. проф. образования «Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина». – Сургут [и др.] : РИО СурГПУ, 2016. – С.204.

6. Возрастно-половой состав населения городских округов и муниципальных районов Республики Татарстан на начало 2024 г.: Статистический сборник / Татарстанстат – Казань, 2024. – 142 с.

7. Тоффлер Э. Третья волна. – Москва : АСТ, 2010. – 795 с.

УДК 004.738, 004.89

ОБУЧАЕМАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ ЗАПРОСОВ В ГИБРИДНЫХ АРХИТЕКТУРАХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ IOT-СИСТЕМ

Шибанов А.В., к.т.н., магистрант Московского физико-технического института (национального исследовательского университета), г. Долгопрудный;
ORCID: 0009-0006-8536-8155;
Карташова А.А., к.т.н., доцент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-5762-7116

LEARNED QUERY ROUTING IN HYBRID DATABASE ARCHITECTURES FOR IOT SYSTEMS

Shibanov A.V., PhD, Master's student, Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Dolgoprudny;
ORCID: 0009-0006-8536-8155;
Kartashova A.A., PhD, Associate Professor, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-5762-7116

Аннотация

Оптимизация процессов обработки данных в системах Интернета вещей требуют совершенствования из-за увеличения количества данных, а также ужесточения требований к скорости и качеству отклика. Определение наилучшего пути распределения вычислительной нагрузки позволяет обеспечить оперативность обработки и сохранение ресурсов за счет новых подходов к архитектуре. Наиболее передовое решение в этой области – использование гибридных моделей.

Существует несколько вариантов решения задачи маршрутизации и распределения ресурсов в IoT-инфраструктурах. В статье обсуждаются три альтернативы: конвергенция SQL-, NoSQL- и NewSQL-архитектур в гибридные системы, автономное управление СУБД средствами машинного обучения, а также применение обучения с подкреплением (reinforcement learning, RL). Выявлено отсутствие эмпирических исследований, проверяющих эффективность RL-агента с онлайн-обучением в роли маршрутизатора запросов в промежуточном слое гибридной NewSQL-архитектуры при дрейфующей IoT-нагрузке. При этом эффективность заявленной комбинации может существенно превысить аналоги за счет использования эвристического метода.

Ключевые слова: NewSQL, гибридные базы данных, IoT, Интернет вещей, маршрутизация запросов, обучение с подкреплением, онлайн-обучение, дрейф рабочей нагрузки, автономные СУБД

Abstract

Optimizing data processing in Internet of Things (IoT) systems requires improvement due to the growing volume of data and increasingly stringent requirements for response speed and quality. Determining the optimal strategy for distributing computational loads enables efficient processing and resource conservation through innovative architectural approaches. The most advanced solution in this field involves the use of hybrid models.

Several approaches exist for addressing routing and resource allocation challenges in IoT infrastructures. This article discusses three alternatives: the convergence of SQL, NoSQL, and NewSQL architectures into hybrid systems; autonomous DBMS management using machine learning; and the

application of reinforcement learning (RL). A gap in empirical research was identified regarding the effectiveness of an RL agent with online learning acting as a query router within the middleware layer of a hybrid NewSQL architecture under conditions of drifting IoT workloads. Notably, the proposed combination could significantly outperform existing solutions through the use of a heuristic method.

Keywords: NewSQL, hybrid databases, IoT, Internet of Things, query routing, reinforcement learning, online learning, workload drift, autonomous DBMS

Устройства Интернета вещей (IoT) широко распространены в промышленной и бытовой практике и темп роста количества новых подключений возрастает с каждым годом. Этот тренд приводит к необходимости обработки эксабайтных объемов разнородных данных, передаваемых по беспроводным каналом связи.

Ретроспективу развития систем управления данными можно описать как последовательность из трёх шагов. Сначала NoSQL-системы сделали возможным отказаться от жёсткой схемы и строгой согласованности в пользу горизонтальной масштабируемости и высокой скорости приёма данных. В результате появилась возможность работы с данными разного формата внутри одной коллекции, при этом добавление новых полей происходит через ввод нового ключа. Сравнительные исследования показывают, что этот выбор оправдан на нагрузках с интенсивной вставкой и слабыми требованиями к целостности, но проигрывает реляционным системам на сложных соединениях и транзакциях [1].

Затем NewSQL-системы попытались соединить транзакционные гарантии ACID (атомарность, согласованность, изолированность, долговечность) с распределённой масштабируемостью, заняв промежуточную позицию в пространстве компромиссов. Это позволило также обеспечить отсутствие единых точек отказа, обеспечить экономию на аппаратной части с сохранением доступа к стандартным библиотекам, но при этом усложнило инфраструктурное обеспечение и выявило проблему задержек (запросы выполняются дольше или отклоняются таймаутом).

Наконец, наиболее передовой вариант решения задачи – конвергенция: внутри одной платформы сосуществуют несколько моделей данных, несколько форматов хранения и несколько исполняющих компонентов. Преимуществами такого подхода являются простота интеграции, рост производительности за счет использования одного адресного пространства кластера вычислений, единые настройки безопасности и администрирования при сохранении гибкости разработки и оптимизации стоимости владения. Согласно обзорам по архитектурам баз данных в эпоху больших данных, такое разнообразие технологий – это не временный этап, а постоянная особенность современных IT-систем [2].

Пока гетерогенность вынесена наружу (несколько отдельных систем, соединённых интеграционным слоем), выбор системы делает архитектор приложения: статически, один раз, на этапе проектирования. Как только гетерогенность оказывается внутри платформы, выбор становится задачей времени исполнения: один и тот же логический запрос может быть направлен в строчный транзакционный движок или в колоночный аналитический, в память или на диск, в локальный или распределённый план [3]. В литературе эта задача называется маршрутизацией (query routing), диспетчеризацией (query dispatch) или выбором движка (engine selection).

IoT-нагрузка совмещает в одном потоке два принципиально разных профиля: массовую вставку телеметрии с датчиков и аналитические либо «почти реального времени» запросы над накопленными данными. Профиль этот нестабилен: интенсивность потока меняется по суточным и событийным циклам, доля аналитических запросов растёт скачкообразно, а требования к времени отклика жёсткие, поскольку многие сценарии имеют смысл только при отклике в пределах десятков или сотен миллисекунд. Именно поэтому гибридная архитектура для IoT – это практическая необходимость, и именно поэтому качество маршрутизации в такой архитектуре напрямую определяет производительность системы.

В направлении автономных или «самоуправляемых» СУБД, машинное обучение и обучение с подкреплением (reinforcement learning, RL) уже показали себя работоспособными: они применяются к настройке конфигурационных параметров, к выбору индексов и физического дизайна, к прогнозированию нагрузки и к оптимизации планов запросов. Однако задача маршрутизации между движками осталась в стороне от этого прогресса, что является важной задачей.

Цель настоящей работы – систематизировать состояние исследований на пересечении перечисленных направлений и обосновать необходимость эмпирического исследования, проверяющего эффективность RL-агента в роли маршрутизатора запросов в гибридной БД типа NewSQL при работе с IoT-нагрузкой.

Методическая работа по формированию образа эксперимента строилась на базе анализа литературы практики отрасли и промежуточных результатов исследований на синтетических и реальных данных. Выявление текущего состояния предметной области включала классификацию существующих подходов и определение исследовательских лакун на стыке технологий.

Каждая работа для данного обзора классифицировалась по четырём признакам:

– объект оптимизации – конфигурация, план запроса, физический дизайн или маршрут;
– класс метода – эвристика, обучение с учителем, многорукий бандит, полноценный RL;
– горизонт решения – одношаговый или последовательный;
– наличие эмпирической проверки на работающей системе.

Такое разбиение работ по категориям оказалось показательным, поскольку выявлено отсутствие публикаций о проверке эффективности использования полноценного обучения с подкреплением именно для задачи маршрутизации запросов на практике. Поиск осуществлялся по ключевым словам: гибридные базы данных, IoT, маршрутизация запросов, обучение с подкреплением, онлайн-обучение, автономные СУБД. Временной период – преимущественно с 2023 по 2026 год.

Сравнительные исследования SQL и NoSQL применительно к современным приложениям и, в частности, к IoT приходят к согласованному выводу: единого самого лучшего варианта нет – какая система подойдёт лучше, зависит от того, какие именно запросы и какая нагрузка ожидаются [1]. Аналогичные результаты получены при оценке производительности обоих семейств в бизнес-приложениях [4], а работы, посвящённые методике выбора типа СУБД, прямо позиционируют NewSQL как способ снять этот выбор с проектировщика [5].

Наиболее интересны измерения NewSQL в распределённой архитектуре. Сопоставление MySQL NDB Cluster и TIBCO ActiveSpaces на симуляции банковских микросервисов показало, что первое решение предпочтительно для критичных ACID-транзакций, а второе – для массового приёма данных IoT-класса [6]. Получается, что даже внутри одного класса NewSQL оптимальный выбор определяется типом запроса, а не только типом системы. Исследования стратегий пакетной миграции больших данных в NewSQL подтверждают, что итоговая стоимость и производительность решения зависят от типа нагрузки не меньше, чем от объёма данных.

В работах про объединённые архитектуры описываются системы, где одна платформа умеет работать сразу с таблицами, документами и графами, а специальный модуль-оптимизатор должен решать, в каком именно виде хранить и обрабатывать одни и те же данные [7]. Задача самоадаптирующегося проектирования и поддержки многомодельных БД формулируется как непрерывная переоценка схемы и физического дизайна под меняющуюся нагрузку. Если смотреть шире на объединение искусственного интеллекта и баз данных, то умный модуль принятия решений должен стать не дополнительной опцией, а обязательной встроенной частью будущей СУБД. Наконец, работы по AI-ассистированной оптимизации запросов в облачных БД прямо ставят задачу обслуживания гибридных SQL/NoSQL-нагрузок в единой среде.

Наиболее точную техническую составляющую гибридности дают обзоры HTAP-систем, которые комбинируют в одной архитектуре транзакционную и аналитическую обработку. Классификация HTAP-архитектур по способу организации хранения показывает, что во всех вариантах неизбежно возникает вопрос, каким путём исполнить конкретный запрос, вплоть до смешанных построчно-колоночных сканирований в одном плане [3]. Второй крупный обзор явно разделяет два инженерных подхода: маршрутизация через промежуточный слой и решение внутри единого оптимизатора; в обоих случаях промышленные системы опираются на стоимостные модели и пороги. Архитектура TiDB, где строчное хранилище TiKV дополнено колоночным TiFlash через Raft-репликацию, является хорошим примером: разделение движков есть, а решение о выборе движка остаётся за оптимизатором и подсказками.

Адаптивное HTAP через гибкое планирование ресурсов трактует гибридную систему как задачу планировщика, перераспределяющего вычислительные ресурсы между транзакционным и аналитическим движками, и достигает улучшения аналитической производительности до 50 % при контролируемом снижении транзакционной пропускной способности. Из этого можно сделать вывод: маршрутное решение изменяет спрос на ресурсы, а доступность ресурсов изменяет качество последующих маршрутных решений. Иными словами, решения не независимы.

Обзор применения машинного обучения и аналитики данных в IoT описывает характерную структуру таких систем: большое число источников, высокая частота событий, гетерогенные форматы, необходимость обрабатывать данные и на периферии, и в центре [8].

Анализ оптимизации запросов к IoT-базам данных с применением глубоких сетевых моделей показывает, что структура IoT-запросов достаточно регулярна, чтобы её можно было предсказывать и использовать для ускорения обработки. Работа по адаптивному разрешению конфликтов IoT-транзакций показывает, что RL уже проникает в транзакционный слой: гибридный протокол валидации с RL-адаптацией показывает преимущество над фиксированными протоколами именно за счёт подстройки под меняющийся профиль конфликтов. Наконец, исследования RL для оптимизации в реальном времени в сетях NB-IoT подтверждают, что задачи распределения ресурсов при жёстких ограничениях по задержке эффективно решаются обучаемыми политиками [9].

Для оценки IoT-ориентированных систем существует стандартизованный инструментарий: анализ бенчмарка TPCx-IoT описывает первый отраслевой стандарт для систем IoT-шлюзов, ориентированный на массовый приём данных с одновременными аналитическими запросами.

Существенно, что IoT-нагрузка нестационарная. Прогнозирование нагрузки по запросам для самоуправляемых СУБД показало, что запросы группируются в устойчивые шаблоны, интенсивность которых прогнозируема на горизонте от минут до суток. Состязательная система прогнозирования трендов для диверсифицированных нагрузок явно ориентирована на смешанные OLTP/OLAP-профили и подтверждает наличие структурного дрейфа. Аналогичная идея реализована за пределами БД: автомасштабирование микросервисов на основе обучения нагрузке использует прогноз как вход контроллера ресурсов. Совокупно эти работы дают проектное указание: маршрутизатор, не видящий текущего и ожидаемого режима нагрузки, будет реагировать на сдвиги с запозданием.

Прежде чем утверждать применимость RL к маршрутизации, нужно убедиться, что RL вообще работает в контуре управления базой данных. Ряд работ отвечают на это положительно.

Перенос знаний с ранее настроенных нагрузок позволяет подбирать конфигурации, сопоставимые с решениями опытного администратора. Сквозная система настройки облачной БД на основе глубокого RL продемонстрировала, что задача подбора конфигурации решается методом обучения с подкреплением, который умеет работать с непрерывными, а не только с дискретными значениями параметров в непрерывном пространстве действий и что политика адаптируется к смене нагрузки и оборудования. Позже эту идею улучшили: стали учиты-

вать особенности конкретных запросов и настраивать систему сразу на нескольких уровнях детализации. Другая альтернатива – объединение в одном алгоритме и серьёзных решений, например, создание индексов, и мелких настроек параметров, при этом следует учесть, что сама смена конфигурации тоже стоит ресурсов.

Настройка с учётом типа нагрузки для автономных СУБД подчёркивает критическую роль репрезентации нагрузки в состоянии агента. Обзор автоматической настройки конфигураций облачных БД систематизирует методы и одновременно перечисляет общие болезни этого класса решений: дорогой сбор образцов, нестационарность, деградация при сдвиге распределения. Исследования автономных и самоисцеляющихся СУБД, а также прикладные работы по самонастройке и администрированию на основе искусственного интеллекта фиксируют, что парадигма «база данных как обучающийся агент» уже принята.

В области оптимизации запросов накоплен схожий опыт. Если учить модель не угадывать точную стоимость выполнения плана запроса, а просто сравнивать планы между собой и выбирать лучший, то ошибки в оценке количества обрабатываемых строк меньше влияют на итоговый результат. Фреймворки ML-ассистированной оптимизации строятся на кооперации обучаемого компонента с традиционным оптимизатором, а не на его замене. Подход, который управляет обычным оптимизатором с помощью специальных подсказок, показал переносимость на произвольную SQL-СУБД, включая коммерческие. Обзорные и прикладные работы по оптимизации на основе искусственного интеллекта и умной оптимизации в распределённых БД суммируют полученные выигрыши и указывают распределённую среду как наименее исследованную [9].

Отдельно стоит выделить подход, который упростил выбор набора подсказок для оптимизатора до модели многорукого бандита с методом Томпсона. Во-первых, он показал: лучше не заменять обычный оптимизатор целиком, а лишь корректировать его. Во-вторых, такое упрощение сделали специально, чтобы модель обучалась быстрее и надёжнее. Но у этого упрощения есть слабое место: предполагается, что каждый новый запрос никак не зависит от предыдущих решений.

Литературные источники показывают, что в производственных системах распределение запросов делают с помощью подсказок оптимизатору, промежуточного слоя либо модели расчёта стоимости внутри оптимизатора. Наиболее показательные количественные данные приводит работа по адаптивному диспетчеру запросов AQD: в облачной платформе PolarDB применяется простое правило «стоимость выше порога – колоночный движок», и, по внутренней статистике, около 20% клиентских обращений в поддержку вызваны субоптимальной диспетчеризацией, что делает её главной причиной деградации производительности и пользовательского опыта. Таким образом, неправильная маршрутизация запросов – самая частая реальная причина сбоев.

В veDB-HTAP в производственных системах используется стоимостная маршрутизация, а обучаемый маршрутизатор на основе Tree-CNN реализован как прототип и оценён в предварительном исследовании: его точность превосходит стоимостную модель до 15 процентных пунктов, достигая более 90% при 20% обучающих данных. Авторы называют его первым глубоким обучаемым маршрутизатором для промышленной HTAP-системы, но указывают, что до полного внедрения остаются нерешённые задачи, прежде всего – когда и как переобучать модель.

Система AQD решает задачу на двух уровнях. Первый – выбор движка для одного запроса: по сути, это задача да/нет с учётом того, насколько сильно мы прогадаем, выбрав неверный вариант. Второй – распределение всей нагрузки в реальном времени так, чтобы суммарная задержка была минимальной, а загрузка процессора и памяти оставалась сбалансированной. При этом доказано: решить вторую задачу идеально, зная всё заранее – крайне сложная вычислительная задача. Реализация включает LightGBM-классификатор на 32 признаках, отобранных SHAP-анализом из 142, линейный контекстуальный бандит LinTS-Delta

с предположительной оценкой задержки – то есть с оценкой того, какой была бы задержка, если бы система выбрала другой вариант. Результаты: снижение средней задержки более чем на 90% относительно стоимостного порога, улучшение метрики HyBench на 15% относительно порога и на 9% относительно предыдущего лучшего решения BRAD, при накладных расходах порядка 500 микросекунд на запрос [10].

Эти работы – сильнейший аргумент в пользу актуальности темы и одновременно источник главного пробела. У обоих подходов есть общий недостаток – они близорукие: смотрят только на один шаг вперёд и не думают о том, как их решение повлияет на будущие запросы.

Концепция Cognitive Query Routing описывает маршрутизацию в гибридных БД как марковский процесс принятия решений: пространство состояний из признаков запроса, системных метрик и контекста нагрузки; дискретное пространство действий по числу движков; мультикомпонентная функция вознаграждения, включающая логарифмическую функцию задержки, штрафы за ресурсы и бонус за балансировку; DQN с experience replay; механизмы онлайн-обучения со скользящим окном, низкой базовой интенсивностью исследования (1–5%) и повышением исследования при обнаружении сдвига нагрузки; средства безопасности в виде отката к эвристике. Однако работа является теоретической: в ней нет реализации, экспериментов, базовых методов сравнения и измерений.

Стоит упомянуть и более раннюю линию: RL применялся к адаптивной обработке запросов в архитектуре eddies, где агент маршрутизирует отдельные кортежи между операторами, что показало преимущество над предшествующими политиками.

Архитектурные исследования показали, что гибридность стала нормой, а оптимальный путь исполнения зависит от свойств запроса и текущего состояния системы. Работы по автономным СУБД доказали, что RL – работоспособный инструмент управления базой данных. Исследования обучаемой оптимизации запросов выработали практические принципы внедрения: коррекция вместо замены, внимание к хвостовым задержкам, дешёвый инференс. Прогнозирование нагрузки предоставило готовые признаки состояния, а IoT-направление показало и потребность в гибридности, и успешность RL в смежных задачах реального времени.

При этом промышленные системы платят измеримую цену за эвристическую маршрутизацию – до 20% клиентских инцидентов в крупной облачной платформе [104]. Первые обучаемые маршрутизаторы дают значительные выигрыши, но остаются одношаговыми, а вопрос их переобучения при дрейфе нагрузки прямо назван открытым, а измеримых характеристик системы не приводится в открытых источниках. Между тем предположение о независимости испытаний, лежащее в основе бандитных постановок, в гибридной СУБД теоретически несостоятельно, поскольку маршрутное решение изменяет состояние среды.

Отсюда ключевым выводом обзора является утверждение о необходимости проведения контролируемого эмпирического исследования, проверяющего эффективность RL-агента с онлайн-обучением в роли маршрутизатора запросов в промежуточном слое гибридной NewSQL-архитектуры при дрейфующей IoT-нагрузке – с заранее объявленным порогом эффекта, интервальными оценками и полным набором базовых методов, включающим, помимо Round-Robin, хеширования и градиентного бустинга, стоимостной порог и контекстуальный бандит. Такое исследование либо подтвердит, что учёт последовательной природы задачи даёт систематический выигрыш, оправдывающий возросшую сложность, либо покажет, что в реальных режимах эксплуатации достаточно бандитной редукции. Оба результата имеют самостоятельную ценность, поскольку сегодня выбор между этими постановками делается без эмпирических оснований.

Список литературы

1. Al Maamari S. R. S., Nasar M. A comparative analysis of NoSQL and SQL databases: Performance, consistency, and suitability for modern applications with a focus on IoT // East Journal of Computer Science. – 2025. – Vol. 1, № 2.

2. Dritsas E., Trigka M. A survey on database systems in the big data era: Architectures, performance, and open challenges // IEEE Access. – 2025.

3. Zhang C., Li G., Zhang J. [et al.]. HTAP Databases: A Survey // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2024. – Vol. 36, no. 11.

4. Borcan A., Captari D., Carp E. C. Comparison of the Performance of SQL and NoSQL Databases in Modern Business Applications // Database Systems Journal. – 2025. – Vol. 16.

5. Ana-Gabriela B. Choosing the Appropriate Database Type: A Comparison of SQL, NoSQL, and NewSQL // Annals – Economy Series. – 2024. – Vol. 6.

6. Zhang Z., Megargel A., Jiang L. Performance evaluation of NewSQL databases in a distributed architecture // IEEE Access. – 2025. – Vol. 13.

7. Patel A. S., Petrovna E. D. Convergent database architectures: multi-model design and query optimization in NewSQL systems // International Journal of Modern Computer Science and IT Innovations. – 2025. – Vol. 2, № 2.

8. Adi E. et al. Machine learning and data analytics for the IoT // Neural Computing and Applications. – 2020. – Vol. 32, № 20.

9. Jiang N. et al. Reinforcement learning for real-time optimization in NB-IoT networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2019. – Vol. 37.

10. Wu Y., Li T., Zhou X. [et al.]. AQD: Online Adaptive Query Dispatcher for HTAP Databases // Proceedings of the VLDB Endowment. – 2026. – Vol. 19, № 7.

УДК 330:338.4:004.9

ЦИФРОВАЯ КОНВЕРГЕНЦИЯ РЕСУРСОВ, ТЕХНОЛОГИЙ И ИНСТИТУТОВ КАК ОСНОВА СУВЕРЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГОСУДАРСТВА ИНДУСТРИИ 4.0

Ширинов А.Ш., к.э.н., председатель совета директоров, Группа СОЛЛЕРС, г. Москва, Россия;
ORCID: 0009-0007-8608-2068;
E-mail: ash60@ro.ru

DIGITAL CONVERGENCE OF RESOURCES, TECHNOLOGIES AND INSTITUTIONS AS THE BASIS OF SOVEREIGN STABILITY OF INDUSTRY 4.0 STATE

Shirinov A.Sh., Ph.D. in Economics, SOLLERS Group Chairman of the Board, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0007-8608-2068;
E-mail: ash60@ro.ru

Аннотация

Статья направлена на выявление закономерностей и оценку потенциала цифровой конвергенции трех разнородных контуров национальной экономики при переходе к модели Индустрии 4.0. Цель – разработка концептуальных основ сопряжения ресурсного потенциала, технологического базиса и институтов доверия для обеспечения суверенной устойчивости государства Индустрии 4.0. Объект исследования – процесс сквозной цифровой трансформации национальной экономической системы. Предмет исследования – баланс цифровой конвергенции ресурсов, технологий и институтов, определяющий уровень суверенной устойчивости макросистемы в условиях ресурсных ограничений. Научная новизна заключается в разработке методического подхода к интегральной оценке суверенной устойчивости макросистем на основе трехфакторной пространственной модели и расчета многомерного индекса суверенной устойчивости макросистемы (ИСУМ), учитывающего динамику трансакционных

издержек на всех уровнях управления. Доказано, что уровень подушевого валового продукта определяет стартовую емкость технологического суверенитета, тогда как окупаемость ИТ-инвестиций детерминирована распределением и воспроизводством институционального доверия по всей иерархии управления. Дефицит доверия ведет к образованию новых форм издержек и тормозит их реинвестирование в экономику, блокируя возможность выхода страны из зоны системной аномии и преодоления значительного разрыва с макроэкономиками уровня Индустрии 4.0. Практическим результатом исследования является возможность сквозного вертикального масштабирования модели, что позволяет декомпозировать аналитический аппарат с макроструктурного уровня государства до мезоуровня регионов и отраслей, микроуровня конкретных предприятий и наноуровня индивидуальных экономических агентов. Это формирует единую матрицу сбора данных и управления как в интересах национальной экономики, так и в интересах отдельного бизнеса.

Методология исследования применима для гармоничного развития компонентов цифровизации, устранения системной разобщенности на всех уровнях взаимодействия акторов, раннего реинжиниринга корпоративных и государственных алгоритмов управления, а также проектирования суверенных цифровых платформ, обеспечивающих переход на смарт-контракты. Сбалансированное развитие цифровизации позволит перенести ответственность за принятие стратегических решений в цифровую среду, минимизировать издержки взаимного контроля и высвободить ресурсы, необходимые для динамичной устойчивости в развитии Индустрии 4.0, закладывая основы Индустрии 5.0.

Ключевые слова: цифровая конвергенция макросистем, индекс суверенной устойчивости макросистемы (ИСУМ), трехфакторный каскадный механизм, трансакционные издержки, циклический транзит институционального доверия, искусственный интеллект, Индустрия 4.0

Abstract

The article aims to identify patterns and assess the potential of digital convergence of three heterogeneous circuits of the national economy during the transition to the Industry 4.0 model. The goal is to develop a conceptual framework for linking resource potential, technological foundations, and trust institutions to ensure the sovereign stability of the Industry 4.0 state. The object of the study is the process of end-to-end digital transformation of the national economic system. The subject of the study is the balance of digital convergence of resources, technologies and institutions, which determines the level of sovereign stability of the macrosystem in the context of resource constraints. The scientific novelty lies in the development of a methodological approach to the integrated assessment of the sovereign stability of macrosystems based on a three-factor spatial model and the calculation of a multidimensional index of sovereign stability of a macrosystem (ISSM), taking into account the dynamics of transaction costs at all levels of governance. It has been proven that the level of gross product per capita determines the starting capacity of technological sovereignty, while the return on IT investments is determined by the distribution and reproduction of institutional trust throughout the entire management hierarchy. A lack of trust leads to the formation of new forms of costs and inhibits their reinvestment in the economy, blocking the country's ability to emerge from the zone of systemic anomie and overcome the significant gap with the Industry 4.0 level macroeconomies. The practical result of the study is the possibility of end-to-end vertical scaling of the model, which allows decomposing the analytical apparatus from the state macrostructural level to the regions and industries meso-level, the micro-level of specific enterprises and the nano-level of individual economic agents. This forms a unified matrix of data collection and management both in the interests of the national economy and in the interests of individual businesses.

The research methodology is applicable for the harmonious development of digitalization components, the elimination of systemic lack of unity at all levels of interaction between actors, the early reengineering of corporate and government management algorithms, and the design of sovereign digital platforms that ensure the transition to smart contracts. Balanced development of digitaliza-

tion will allow the transfer of responsibility for strategic decision-making to the digital environment, minimize the costs of mutual control, and free up the resources necessary for dynamic stability in the development of Industry 4.0, laying the foundations for Industry 5.0.

Keywords: digital convergence of macrosystems, index of sovereign stability of a macrosystem (ISSM), three-factor cascade mechanism, transaction costs, cyclical transit of institutional trust, artificial intelligence, Industry 4.0

Современный этап макроэкономического развития характеризуется форсированным развертыванием сквозных технологических решений, изменяющих материальный базис производственных и управленческих контуров. В условиях высоких трансакционных барьеров именно необходимость их упреждающего снижения становится источником и стимулом структурных изменений. В силу этого ключевым трендом на мезо- и макроуровне становится объединение и обработка баз данных в рамках кластерных экосистем, связывающих цепочки поставок, конкурентов, государство, финансовый сектор, науку и образование на принципах прозрачности и взаимного доверия.

Базовым условием функционирования таких цифровых решений выступает первичная комплементарность ресурсной базы, институциональной среды и технологий, обеспечивающая радикальное снижение совокупных трансакционных издержек и последующее рефинансирование этого процесса за счет высвобождаемых ресурсов.

Из данной закономерности следует, что цифровая экономика не возникает автоматически в результате наращивания мощностей ИТ-инфраструктуры [1, с. 13]. Изолированное развитие цифровых решений при дефиците институциональной комплементарности смещает структуру издержек и порождает их новые типы [2, с. 173]. Для реализации макроэкономического эффекта новые технологии должны упреждающе противодействовать появлению данных трансакционных барьеров, включая поведенческое отторжение со стороны экономических акторов. Это требует сквозного сопряжения ресурсного потенциала, технологического базиса и институциональной среды макросистемы, реализуемого на основе трансформации бизнес-моделей посредством упреждающего реинжиниринга процессов.

Настоящее исследование применяет системный подход к макроэкономической структуре, интегрируя нормативные требования к единству экономического и технологического пространств Российской Федерации с контурами их правового обеспечения. В рамках такой интеграции цифровой суверенитет определяется не масштабами инфраструктуры, а согласованной координацией акторов на всех уровнях экономики. Причинно-следственная связь между данным балансом и независимостью государства заключается в том, что высвобождаемый внутренний капитал макросистемы напрямую обеспечивает ее устойчивость и рост геоэкономической субъектности на мировой арене.

Реализация указанного ресурсного потенциала требует перехода от догоняющих моделей замещения импорта, консервирующих отставание, к проактивным стратегиям платформенного импортоопережения. Инструментарием этого процесса является формирование внутренних и внешних оцифрованных сетей как единого пространства на основе принципов партнерства и гармонизации управления [3, с. 14]. Данный контур выступает цифровой средой, которая за счет накопления социального капитала не только снижает риски оппортунизма и трансакционные барьеры, но и формирует качественные массивы данных, необходимые для уверенного развития искусственного интеллекта (ИИ). Возникающее в такой среде доверие необходимо рассматривать в категории экономического института [1, p. 23], стабильность которого стимулирует долгосрочные инвестиции и предотвращает кризис в управленческой вертикали.

Напротив, низкий уровень доверия означает высокую долю архаичных контролирующих процедур, алгоритмизация которых ведет к оцифровке «неэффективной бюрократии», размывающей персональную ответственность, инновационную и инвестиционную актив-

ность. Автоматизация и внедрение ИИ приобретают имитационный характер, формируют неформализованные управленческие и контролирующие механизмы. Это фрагментирует цифровое пространство, поглощает ресурсы макросистемы, что, по сути, саботирует процесс цифровизации [4, с. 100] и выводит управление в ручной режим. Характерным примером институционального влияния может служить опыт Японии, где платформенные алгоритмы сопровождаются жесткой архаичной системой персональной ответственности внутри управленческой иерархии.

Для менеджеров, принимающих стратегические решения, ключевыми триггерами осознанного неприятия или скрытого саботажа технологического переоснащения, по мнению некоторых исследователей, вступают системные управленческие разрывы: отсутствие стандартизированных протоколов внедрения, изоляция цифровых инициатив от основных бизнес-процессов и отсутствие реалистичного представления о возврате инвестиций. При этом, возможность применения указанных протоколов напрямую зависит от наличия квалифицированных кадров и точных расчетов, дефицит которых в условиях институциональной неопределенности лишь усугубляет сопротивление изменениям.

Таким образом, на поведенческом уровне дефицит институционального доверия проявляется как отторжение цифровых алгоритмов и культурный барьер на пути реализации экономического эффекта технологий [1, с. 13]. Под воздействием технологического давления данный барьер эволюционирует в «цифровую тревогу» – страх лиц, принимающих решения, перед вытеснением человека системами искусственного интеллекта и обезличиванием контуров управления и, возможными ошибками инвестирования. Этот феномен представляет собой трансформацию классического дефицита социального капитала, когда нехватка доверия налагает на экономическую деятельность избыточные издержки контроля [5, с. 23].

Устранение указанного дефицита требует сопряжения нормативно-правовых контуров с платформенными алгоритмами, обеспечивающими прозрачность взаимодействий. В свою очередь, исполнение данных регламентов конвертируется в доверие к базовым институтам макросистемы, что на мезоуровне запускает формирование устойчивого института «цифровой бизнес-этики». Посредством платформенной алгоритмизации этические нормы обеспечиваются протоколами смарт-контрактов, синхронизируя внутренние контуры координации с внешними контурами макросистемы. Рост эффективности единого оцифрованного пространства за счет снижения трансакционных издержек обеспечивает материальное благосостояние акторов. Данный процесс запускает обратный положительный импульс в освоение технологий, что формирует устойчивую восходящую петлю системного доверия от нано- (поведения индивида) до макро- и мегаэкономического уровней управления (по Г. Б. Клейнеру). В результате формируется модель сквозного и цикличного каскадирования доверия экономических акторов, характерную для государства Индустрии 4.0, управляющего балансом экономического, технологического и институционального развития.

Уровни технологического, институционального и ресурсно-инвестиционного развития различных макросистем, каждый в отдельности, позволяют оценить специализированные международные мониторинги. Для проверки влияния различного уровня баланса этих трех факторов на основе данных мониторингов проведен расчет в авторской математической модели многомерного индекса суверенной устойчивости макросистемы (ИСУМ – Index of Sovereign Stability of the Macrosystem, ISSM). Для сравнительного анализа рассматривается выборка из 10 ключевых макроэкономических систем, охватывающая страны «Большой семерки», «БРИКС» и технологических мировых лидеров (таблица1).

Оценка базируется на трех параметрических контурах по данным за 2025 год: Контур 1 (Базис) – ВВП на душу населения по паритету покупательной способности (ППС, тыс. долл.) [6]. Охват 217 отдельных экономик;

Контур 2 (Среда) – индекс эффективности государственного управления (Government Effectiveness) Worldwide Governance Indicators (WGI) [7]. Охват193 страны;

Контур 3 (Результат) – индекс сетевой готовности Network Readiness Index (NRI) [8]. Охват127 стран.

Таблица 1

Исходные макроэкономические и рейтинговые параметры систем, 2025 г.

Страна (Макросистема)*	ВВП на душу (ППС), тыс. $	Рейтинг ВВП (Глобальный)	WGI (Gov. Effectiveness)	Рейтинг WGI (Глобальный)	NRI 2025 (Score)	Рейтинг NRI (Глобальный)
Сингапур	163,354	3	2,28	1	75,46	3
США	87,504	7	1,36	23	79,13	1
Швеция	72,528	12	1,77	10	75,09	5
Германия	75,407	10	1,55	18	74,12	7
Южная Корея	63,124	16	1,49	21	72,38	10
Япония	55,421	20	2,09	2	70,22	11
Россия	49,568	29	-0,32	124	52,01	56
Китай	29,333.3	59	0,90	39	65,74	24
Бразилия	23,433	70	-0,22	110	53,64	51
Индия	11,748	115	0,40	59	54,43	45

*Страны расположены в порядке убывания уровня ВВП (ППС).

Источник: составлено автором на основе прогнозов МВФ (World Economic Outlook), оценочных траекторий WGI и проекций Portulans Institute (NRI). Окончательные данные подлежат верификации после публикации официальных отчетов за 2025 г.

Для преодоления масштабно-компонентной асимметрии индикаторов применяется двухэтапная математическая модель свертки многомерных данных. В терминах теории принятия решений (MADM) факторы образуют иерархический каскад (Базис → Среда → Результат), где реализация верхнего уровня невозможна без сформированного нижнего (табл. 2).

Таблица 2

Иерархический каскад уровней конвергенции исследуемых факторов

Уровень/контур каскада	Фактор	Экономическая функция
Уровень/контур 1 (Базис)	ВВП по ППС ($q_{GDP\ (PPP)}$)	Материальный базис. Без концентрации капитала невозможно формирование институтов, инфраструктуры
Уровень/ контур 2 (Среда)	Доверие (q_{WGI})	Институциональная среда. Без доверия трансакционные издержки делают технологии экономически неэффективными
Уровень/контур 3 (Результат)	Цифровизация (q_{NRI})	Технологический контур цифровизации. Реальная Индустрия 4.0. Бесшовная интеграция возможна только при наличии Базиса и Среды

Источник информации: составлено автором.

Шаг 1. Формируется матрица исходных данных (X_{10x27}), где строки соответствуют исследуемым макросистемам (i = 1,...,10), а столбцы – параметрам (j = 1,…, 27), жестко закрепленным за тремя контурами модели по Nk = 9 индикаторов в каждом контуре, при ΣNk = 27.

$$X = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,27} \\ x_{2,1} & x_{2.2} & \cdots & x_{2,27} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{10,1} & x_{10,2} & \cdots & x_{10,27} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Шаг 2. Элементы матрицы преобразуются в безразмерные коэффициенты qi,j ∈ [0, 1] по формуле линейного масштабирования по методу «min–max» нормализации:

$$q_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{min,j}}{x_{max,j} - x_{min,j}}. \quad (2)$$

Данный подход соответствует процедуре нормализации факторов, регламентированной в нормативных документах Росстандарта, и широко применяется в многопараметрическом анализе для приведения разнородных показателей к единому масштабу

Шаг 3. Математическим решением многомерной матрицы выступает иерархический композитный индекс (I_{ssm}) с каскадными весами, построенный в соответствии с методологическими рекомендациями Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) по построению композитных индикаторов, что обеспечивает сопоставимость, валидность результатов и системный подход к анализу многомерной матрицы на разных уровнях иерархии. Индекс рассчитывается по авторской нелинейной полиноминальной функции:

$$I_{ssm} = \frac{q_{\text{GDP (PPP)}} + q_{\text{GDP (PPP)}} * q_{WGI} + q_{\text{GDP (PPP)}} * q_{WGI} * q_{NRI}}{3}. \quad (3)$$

Формула (3) отражает макроэкономическую зависимость: эффект цифровизации мультипликативно помножен на качество институтов и материальный базис. Деление на количество слагаемых (3) обеспечивает нормализацию индекса в диапазоне [0;1], что упрощает интерпретацию и сравнение макросистем. При дефиците факторов в контурах «Базиса» или «Среды» итоговый показатель устойчивости стремится к нулю даже при максимальном уровне технологического развития («Результат»). Итоги расчета математической модели сведены в табл. 3.

Таблица 3

Индекс и тип суверенной устойчивости макросистемы

Место	Страна	$q_{GDP (PPP)}$ (Фундамент)	q_{WGI} (Среда)	q_{NRI} (Результат)	I_{ssum} (ИСУМ)	Тип
1	Сингапур	1,000	1,000	0,856	0,952	T1
2	США	0,612	0,646	1,000	0,467	T2
3	Швеция	0,475	0,804	0,842	0,393	T2
4	Германия	0,498	0,719	0,804	0,381	T2
5	Юж. Корея	0,402	0,696	0,735	0,296	T3
6	Япония	0,342	0,927	0,680	0,291	T3
7	Россия	0,296	0,000	0,083	0,099	T4
8	Китай	0,138	0,469	0,591	0,080	T4
9	Бразилия	0,091	0,038	0,062	0,031	T4
10	Индия	0,000	0,277	0,000	0,000	T4

Источник информации: составлено автором.

Пороговые значения типов систем (табл. 3) установлены на основе кластерных пустот в распределении данных выборки. Единый безразмерный диапазон индекса [0; 1] разбит на четыре качественные зоны (табл. 4): от синергетического баланса ($I_{ssm} \geq 0,7$) до системной аномии ($I_{ssm} < 0,1$).

Таблица 4

Типологическая стратификация макросистем по уровню суверенной устойчивости

Тип системы / Зона риска	Зона	Входящие макро-системы	Основные признаки	Специфика суверенного риска и вектор трансформации
Т 1: синергетический резонанс	K≥0,7	Сингапур	Идеальный баланс (Государство Индустрии 4.0): Полная взаимная комплементарность и гармонизация материального, институционального и технологического контуров развития	Вектор: Экспорт модели. Масштабирование бесшовных систем в глобальный платформенный хаб и стратегический переход к государству Индустрии 5.0.
Т 2: структурный паритет	0,38≤K<0,70	США, Швеция, Германия	Умеренный паритет: Высокая эффективность базовых институтов и прочный материальный фундамент при опережающей динамике сетевой готовности.	Риск диспропорций: Локальные разрывы из-за высокой скорости цифровизации. Вектор: Преодоление межплатформенных барьеров координации и обеспечение сквозной безопасности инфраструктуры.
Т3: латентные асимметрии	0,10≤K<0,38	Юж. Корея, Япония	Институционально-цифровой перекос: высокий уровень цифровизации при скрытом социокультурном традиционализме и отставании материального базиса.	Риск затухающей отдачи от ИТ-капитала: Бесшовные алгоритмы дублируются архаичным ручным контролем и иерархической ответственностью. Вектор: Преодоление ментальных барьеров ручного администрирования
Т4: системная аномия	K <0,1	Россия, Китай, Бразилия, Индия	Институциональные ограничения: Развивающийся технологический потенциал на фоне умеренного подушевого богатства и выраженного дефицита взаимного доверия.	Риск алгоритмического оппортунизма: ИТ-решения вырождаются в автоматизацию неэффективной бюрократии; капитал поглощается издержками недоверия. Вектор: Технологическое замещение дефицита доверия через алгоритмы смарт-контрактов.

Источник информации: составлено автором.

При анализе табл. 3 особый интерес вызывает дисбаланс параметров в полярных группах макросистем Т1 и Т4. Макросистемы Т1 аккумулируют характеристики завершенного Государства 4.0, доказывая, что комплементарность факторов формирует фундамент для проактивного транзита к парадигме Индустрии 5.0. В отличие от Индустрии 4.0, максимизи-

ровавшей исключительно цифровую эффективность процессов, Индустрия 5.0 переориентирует потенциал платформ на принципы человекоцентричности, экологичности и системной стойкости, трансформируя автоматизацию в инструмент расширения возможностей человека [10], полностью исключая страхи и недоверие к ИИ и киберфизическим системам из-за институционального фактора.

Напротив, группа Т4 (страны-основатели БРИКС) находится в состоянии устойчивого дисбаланса между развивающимся технологическим контуром (q_{NRI}) и выраженным дефицитом институционального доверия (q_{WGI}).

Учитывая возможную политизированность западных источников информации, используемых в модели, и влияние на показатель ВВП по ППС ($q_{GDP\ (PPP)}$) по странам группы Т4 количества народонаселения (масштаб неразвитых периферийных территорий [9]), относительно других стран, участвующих в выборке, была проведена проверка чувствительности расчетов с учетом этих факторов. С этой целью, произведен пересчет базиса ($q_{GDP\ (PPP)}$), оценивающего только городское население всех макроэкономик (в связи с ограничениями объема статьи, данный расчет не приводится). Для России такой пересчет поднимает индекс лишь до нижнего порога Т3 (I_{ssm}≈0,14), что объективно ниже уровня Японии и Южной Кореи (I_{ssm}≈0,25–0,29), где высокий институциональный множитель (q_{WGI}) обеспечивает синергию. Аналогично Китай упирается в ограничение своей институциональной и технологической зрелости, не позволяющее ему достичь паритета со странами Т2.

Оценивая возможности политизации исходных данных, расчеты показывают, что минимальный сценарий перехода России из типа Т4 в зону Т3 требует роста ВВП по ППС на 15% ($q_{GDP\ (PPP)}$ = 0,340) для преодоления критического порога (I_{ssm} = 0,100). В параметрах бюджета 2026 г. данный транзит эквивалентен приросту номинального объема экономики на 35,26 трлн рублей ($382,4 млрд.). В свою очередь, переход из Т3 в зону паритета Т2 требует роста технологического индекса на 32% (до 66 пунктов) Таким образом, модель доказывает: устранение статистических искажений выявляет скрытые резервы в группе Т4, но не отменяет необходимости фундаментального институционального реинжиниринга для реального преодоления разрыва.

Представленная методология интегральной оценки и расчета суверенной устойчивости макросистем выступает практическим результатом исследования. Разработанный расчетный алгоритм суверенной устойчивости I_{ssm} обладает свойством сквозного вертикального масштабирования, что позволяет декомпозировать аналитический аппарат с макроструктурного уровня государств до мезоуровня регионов и отраслей, микроуровня конкретных предприятий и наноуровня индивидуальных экономических агентов.

В процессе масштабирования математическая логика распределения систем по группам стабильности остается неизменной, однако экономическое содержание параметров адаптируется под специфику каждого уровня, формируя единую матрицу генерации, сбора данных и стратегического управления как национальной экономикой, так и отдельным бизнесом (в связи с ограничениями объема статьи, данный алгоритм не приводится).

В качестве конструктивных практических рекомендаций предлагается внедрение ряда стратегических инструментов:

– на макроуровне:

а) скорейшая глубокая интеграция информационных систем профильных министерств, ведомств и Банка России на базе Государственной информационной системы «Цифровая аналитическая платформа предоставления статистических данных» (ГИС ЦАП) в рамках единой национальной оперативно обновляемой метаплатформы данных на базе сквозных протоколов совместимости;

б) совместное с бизнесом проектирование суверенной системы макроэкономических и технологических метрик для опережающего управления структурной трансформацией

экономики в условиях Индустрии 4.0 с их последующим внедрением в алгоритмы ГИС ЦАП в качестве сквозных индикаторов принятия стратегических решений;

в) запуск государственной программы с участием бизнеса по разработке стандартизированных протоколов внедрения платформенных решений, алгоритмов опережающего реинжиниринга и целевой подготовки соответствующих ИТ-кадров;

– на мезоуровне: законодательное обеспечение суверенных деятельности репутационных систем (в том числе, всероссийского ЭКГ-рейтинга). Это позволит создать бизнеса прозрачные механизмы смарт-контрактации на основе единой модели метаплатформы данных;

– на микро- и наноуровнях: внедрение стандартов сквозного проектирования цифровой среды с обязательным опережающим реинжинирингом бизнес-процессов в промышленности.

Реализация данного контура требует разработки оригинальной линейки объективных сопоставимых показателей для каждого уровня иерархии управления с их обязательной фиксацией в единой базе данных на платформе ГИС ЦАП.

Драйвером этой интеграции выступает наделение смарт-контрактов прямой юридической силой, что обеспечит бесшовное взаимодействие сквозных цифровых систем государства (от ГИС ЦАП Росстата до Ситуационного центра Правительства РФ), бизнеса без издержек взаимного контроля.

Данный подход прямо обеспечивает безопасное масштабирование алгоритмов искусственного интеллекта, повышает глобальную конкурентоспособность и укрепляет суверенно-технологический статус страны в международной иерархии, минимизируя критический риск фиксации исторического отставания.

Проведенное исследование позволяет констатировать, что в условиях перехода к Индустрии 4.0 суверенность государства не может быть обеспечена исключительно форсированным наращиванием технологических мощностей или изолированным импортозамещением промышленного софта. Эффективность функционирования макросистемы как единого спроектированного пространства выступает прямой функцией сбалансированного сопряжения ее ресурсного, технологического и институционального потенциалов. Разработанный автором аналитический метод на основе Индекса суверенной устойчивости макросистемы (I_{ssm}) доказывает, что величина трансакционных издержек в цифровой среде предопределяется сонаправленностью векторов развития инфраструктуры и институтов доверия. Преодоление дефицита сопряженности минимизирует внутренние барьеры в хозяйственной системе, высвобождает дефицитные управленческие ресурсы и трансформирует государство в суверенного субъекта современных международных отношений государств Индустрии 4.0.

Список литературы

1. Аузан, А. А. Цифровая экономика как экономика: институциональные тренды / А. А. Аузан // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – 2019. – № 6. – С. 13–20.

2. Скрипкин, К. Г. Цифровизация экономики: содержание и основные тенденции / К. Г. Скрипкин // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – 2019. – № 6. – С. 170–186.

3. Ширинов, А. Ш. Концепция и принципы формирования бизнес-пространства / А. Ш. Ширинов // Казанский экономический вестник. – 2020. – № 5(49). – С. 11–22.

4. Nakagawa G. Accelerated Digital Transformation and Development of Digital Talent in Local Governments under Japan's Bureaucratic Policies // Policy & Governance Review. 2025. Vol. 12. № 1. P. 45–62. doi.org/10.30589/pgr.v9i.1220

5. Фукуяма, Ф. Доверие: социальные добродетели и путь к процветанию / пер. с англ. Д. Павловой, В. Кирющенко, М. Колопотина ; под общ. ред. М. Колопотина. – Москва: АСТ: Ермак, 2004. – 730 с.

6. Официальный сайт Всемирного банка. База данных ВВП по ППС [Электронный ресурс]. – URL: https://data.worldbank.org/ (дата обращения: 04.08.2026).

7. Worldwide Governance Indicators (WGI) 2025 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.theglobaleconomy.com/ (дата обращения: 04.08.2026).

8. Network Readiness Index (NRI) 2025 / Portulans Institute [Электронный ресурс]. – URL: https://download.networkreadinessindex.org/ (дата обращения: 04.08.2026).

9. Xu B., Hu Y., Xu K., Zou G. Breaking the Center-Periphery Trap? Return Migration Entrepreneurship and Intra-County Spatial Restructuring // Research Square. 2026. July 22. DOI: 10.21203/rs.3.rs-10002652/v1.

10. Reimagining Industry 5.0: Centering People in a Digital World and Bridging Techno-Economic and Socio-Technical Futures / A. Abdullah, S. Sumaiyah, Y. Yazid [и др.] // ARISTO. – 2026. – Vol. 14, № 2. – Pp. 1294–1325. – DOI: 10.24269/ars.v14i2.13279.

УДК 004.421:004.932

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И УДОБСТВА ИНТЕГРАЦИИ PYTHON (REMOTE API) И C++ (PLUGIN) ПРИ РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СИМУЛИРОВАННОГО РОБОТА В COPPELIASIM

Шлямин Д.А., студент;
ORCID: 0009-0001-9716-2211;
E-mail: domdom.xox@gmail.com;
Вафин Р.Р., старший преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE AND EASE OF INTEGRATION OF PYTHON (REMOTE API) AND C++ (PLUGIN) IN DEVELOPING COMPUTER VISION ALGORITHMS FOR A SIMULATED ROBOT IN COPPELIASIM

Shlyamin D.A., student;
ORCID: 0009-0001-9716-2211;
E-mail: domdom.xox@gmail.com;
Vafin R.R., Senior Lecturer of the Department of Automated Information Processing and Control Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

Данная работа посвящена сравнительному анализу двух подходов к программированию алгоритмов компьютерного зрения для симулированного робота в среде CoppeliaSim. Рассматриваются два способа интеграции: использование Python через Remote API и разработка нативных плагинов на C++.

В ходе исследования анализируются ключевые метрики производительности, такие как скорость обработки видеопотока, задержки при передаче данных и частота обновления ин-

формации. Особое внимание уделяется не только техническим характеристикам, но и удобству разработки: простота отладки, доступность библиотек компьютерного зрения (OpenCV и др.), сложность реализации и потенциал для переноса кода на реального робота.

На основе экспериментальных данных формулируются рекомендации по выбору оптимального подхода в зависимости от конкретных задач разработчика. Результаты работы могут быть полезны инженерам и исследователям, занимающимся программным обеспечением робототехнических систем и симуляционным моделированием.

Ключевые слова: CoppeliaSim (V-REP), компьютерное зрение, Python, Remote API, C++, плагины, симуляция роботов, сравнительный анализ, производительность, интеграция, программное обеспечение робототехнических систем, обработка изображений, OpenCV

Abstract

This work is devoted to a comparative analysis of two approaches to programming computer vision algorithms for a simulated robot in the CoppeliaSim environment. Two integration methods are considered: using Python via the Remote API and developing native C++ plugins.

The study analyzes key performance metrics such as video stream processing speed, data transmission latency, and information update frequency. Special attention is paid not only to technical characteristics but also to development convenience: ease of debugging, availability of computer vision libraries (OpenCV, etc.), implementation complexity, and the potential for transferring code to a real robot.

Based on experimental data, recommendations are formulated for choosing the optimal approach depending on the specific tasks of the developer. The results of this work may be useful for engineers and researchers involved in robotics software and simulation modeling.

Keywords: CoppeliaSim (V-REP), computer vision, Python, Remote API, C++, plugins, robotics simulation, comparative analysis, performance, integration, robotics software, image processing, OpenCV

Введение

Современная робототехника стремительно развивается, и одной из ключевых технологий, определяющих уровень автономности роботов, является компьютерное зрение. Способность робота воспринимать и интерпретировать визуальную информацию открывает широкие возможности для навигации, взаимодействия с объектами и принятия решений в реальном времени. Однако разработка и отладка алгоритмов компьютерного зрения непосредственно на реальном оборудовании сопряжена с высокими временными и материальными затратами, а также рисками повреждения аппаратной части. В связи с этим особую значимость приобретают среды имитационного моделирования, позволяющие проводить эксперименты в виртуальном пространстве.

Одной из наиболее популярных и функциональных платформ для симуляции робототехнических систем является CoppeliaSim (ранее известный как V-REP). Данная среда предоставляет разработчику гибкие возможности для управления виртуальными моделями, включая встроенные скрипты, механизм плагинов и технологию Remote API, обеспечивающую взаимодействие с внешними приложениями. Перед разработчиком, решающим задачу внедрения алгоритмов компьютерного зрения, встает вопрос выбора оптимального способа программной реализации. С одной стороны, использование Python и Remote API сулит удобство разработки и доступ к богатой экосистеме библиотек (OpenCV, NumPy). С другой стороны, разработка нативных плагинов на C++ обещает максимальную производительность за счет работы непосредственно в процессе симулятора.

Актуальность данного исследования обусловлена отсутствием четких, экспериментально обоснованных рекомендаций по выбору между этими двумя подходами в контексте за-

дач компьютерного зрения. Часто выбор делается интуитивно, либо в пользу простоты, либо в пользу скорости, без понимания реальных количественных показателей эффективности и накладных расходов каждого из методов.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа производительности и удобства интеграции алгоритмов компьютерного зрения, реализованных на Python (с использованием Remote API) и C++ (в виде плагина), при управлении симулированным роботом в среде CoppeliaSim.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор архитектуры среды CoppeliaSim, изучить принципы работы встроенных скриптов, плагинов на C++ и механизма Remote API;

2. Разработать виртуальный испытательный стенд, включающий модель робота, оснащенного видеокамерой;

3. Реализовать типовой алгоритм обработки изображений (например, поиск и определение координат объекта) двумя способами: на языке Python с передачей данных через Remote API и на языке C++ в виде подключаемого плагина;

4. Выполнить сравнительный анализ разработанных решений по критериям производительности (время обработки кадра, частота обновления данных, задержка управления);

5. Оценить удобство разработки с точки зрения простоты написания кода, отладки, доступности библиотек и возможности последующего переноса алгоритмов на реального робота;

6. Сформулировать практические рекомендации по выбору подхода в зависимости от требований конкретной задачи.

Объектом исследования выступает процесс разработки программного обеспечения для систем технического зрения роботов в симуляционной среде. Предметом исследования являются методы интеграции алгоритмов компьютерного зрения в среду CoppeliaSim с использованием связок Python/Remote API и C++/Plugin.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволят разработчикам робототехнического программного обеспечения принимать обоснованные решения на этапе проектирования систем, выбирая оптимальный баланс между производительностью и удобством разработки.

Методика исследования

В основе исследования лежит анализ архитектуры CoppeliaSim и официальной документации, а также экспериментальная реализация типовой задачи компьютерного зрения для симулированного робота. Для подхода на Python использовались Remote API и библиотека OpenCV, взаимодействие осуществлялось через сокетное соединение с внешним приложением. Для подхода на C++ разрабатывался нативный плагин, компилируемый в динамическую библиотеку и подключаемый непосредственно к ядру симулятора. Сравнение проводилось по следующим параметрам: время обработки одного кадра, частота обновления данных, задержка при передаче изображения, доступность библиотек компьютерного зрения, удобство отладки и возможность интеграции с существующими фреймворками.

Основная часть

1. Реализация компьютерного зрения через Python Remote API

Remote API предоставляет возможность взаимодействия с CoppeliaSim из внешних приложений. Для задач компьютерного зрения этот подход открывает доступ к богатой экосистеме Python-библиотек, прежде всего OpenCV. Серверная часть активируется в симуляторе вызовом simExtRemoteApiStart(port), после чего Python-клиент может устанавливать соединение, получать изображения с виртуальной камеры и управлять роботом.

Для получения изображения используется функция simxGetVisionSensorImage, которая передает массив пикселей из симулятора во внешнее приложение. Полученные данные

преобразуются в формат, пригодный для обработки OpenCV (например, в массив NumPy). Далее выполняется алгоритм компьютерного зрения: цветовая фильтрация, поиск контуров, определение координат объекта. Результаты (координаты, флаги обнаружения) отправляются обратно в симулятор через simxSetJointTargetVelocity или другие управляющие функции.

```
vrep.simxFinish(-1)
clientID = vrep.simxStart('127.0.0.1', 19997, True, True, 5000, 5)

if clientID != -1:
    print('Connected to CoppeliaSim')
    _, cam_handle = vrep.simxGetObjectHandle(clientID, 'VisionSensor', vrep.simx_opmode_oneshot_wait)
    _, left_motor = vrep.simxGetObjectHandle(clientID, 'leftMotor', vrep.simx_opmode_oneshot_wait)
    _, right_motor = vrep.simxGetObjectHandle(clientID, 'rightMotor', vrep.simx_opmode_oneshot_wait)

    _, resolution, image = vrep.simxGetVisionSensorImage(clientID, cam_handle, 0, vrep.simx_opmode_streaming)

    while True:
        return_code, resolution, image = vrep.simxGetVisionSensorImage(clientID, cam_handle, 0, vrep.simx_opmode_buffer)
        if return_code == vrep.simx_return_ok:
            img = np.array(image, dtype=np.uint8)
            img.resize([resolution[1], resolution[0], 3])
            img = cv2.flip(img, 0)
            hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_RGB2HSV)
            lower_red = np.array([0, 100, 100])
            upper_red = np.array([10, 255, 255])
            mask = cv2.inRange(hsv, lower_red, upper_red)
            contours, _ = cv2.findContours(mask, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
            if contours:
                # Объект найден - поворачиваем к нему
                vrep.simxSetJointTargetVelocity(clientID, left_motor, 0.5, vrep.simx_opmode_oneshot)
                vrep.simxSetJointTargetVelocity(clientID, right_motor, -0.5, vrep.simx_opmode_oneshot)
            else:
                # Объект не найден - едем прямо
                vrep.simxSetJointTargetVelocity(clientID, left_motor, 1.0, vrep.simx_opmode_oneshot)
                vrep.simxSetJointTargetVelocity(clientID, right_motor, 1.0, vrep.simx_opmode_oneshot)

        time.sleep(0.05)
else:
    print('Failed to connect')
```

Рис. 1. Фрагмент Python-кода для обработки изображения

Преимущества подхода: доступ к полному функционалу OpenCV и NumPy, возможность использования машинного обучения (PyTorch/TensorFlow), удобная отладка в IDE (PyCharm, VSCode), отделение логики от симуляции, что упрощает перенос на реального робота.

Недостатки: задержки при передаче изображения по сети, необходимость явного управления соединением, зависимость от стабильности сокетного соединения, дополнительные накладные расходы на преобразование форматов данных.

2. Реализация компьютерного зрения через C++ Plugin

Плагины в CoppeliaSim представляют собой динамически подключаемые библиотеки (DLL на Windows, .so на Linux), написанные на C++ и работающие непосредственно в процессе симулятора. Они имеют прямой доступ ко всем функциям API и могут значительно расширять функциональность среды. Для задач компьютерного зрения плагин позволяет обрабатывать изображения без сетевых задержек и с максимальной производительностью.

Структура плагина включает обязательные функции инициализации и завершения (simStart, simEnd), а также пользовательские команды, которые могут вызываться из скриптов Lua. Для работы с изображениями используется функция simGetVisionSensorImage, возвращающая указатель на массив пикселей непосредственно из памяти симулятора.

Пример реализации плагина на C++:

```cpp
#include "simPlusPlus/Plugin.h"
#include "opencv2/opencv.hpp"

class MyPlugin : public sim::Plugin
{
public:
    void onStart() {
        sim::addCommand(scriptFuncs, "detectObject", [this](auto stack) {
            int handle = sim::getInputInt(stack, 1);
            detectObject(stack, handle);
            return 1;
        });
    }

private:
    void detectObject(sim::Stack* stack, int sensorHandle) {
        unsigned char* image = simGetVisionSensorImage(sensorHandle, resolution, nullptr);
        cv::Mat img(resolution[1], resolution[0], CV_8UC3, image);
        cv::cvtColor(img, img, cv::COLOR_RGB2BGR);
        cv::inRange(hsv, cv::Scalar(0,100,100), cv::Scalar(10,255,255), mask);
        cv::findContours(mask, contours, cv::RETR_EXTERNAL, ...);
        if (!contours.empty()) {
            sim::pushFloatTable(stack, {x, y});
        }
        simReleaseBuffer(image);
    }
};

SIM_PLUGIN(MyPlugin)
```

Рис. 2. Реализация на C++

Данный листинг демонстрирует реализацию нативного плагина для CoppeliaSim на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV. Плагин регистрирует пользовательскую функцию detectObject, которая может вызываться из Lua-скриптов симулятора. При вызове функции происходит следующее: из виртуальной камеры робота через функцию simGetVisionSensorImage получается массив пикселей изображения; полученные данные преобразуются в формат OpenCV (cv::Mat); выполняется цветовая фильтрация для выделения областей красного цвета (cv::inRange); производится поиск контуров (cv::findContours); в случае обнаружения объекта его координаты возвращаются обратно в Lua через sim::pushFloatTable. После обработки буфер изображения освобождается функцией simReleaseBuffer. Весь код выполняется непосредственно в процессе симулятора, что исключает сетевые задержки и обеспечивает максимальную скорость обработки.

Таблица 1

Критерий	Python Remote API	C++ Plugin
Скорость обработки кадра	Средняя (зависит от сети)	Высокая (нативная)
Задержка передачи данных	Присутствует (сеть)	Отсутствует
Доступность библиотек	OpenCV, NumPy, PyTorch, TensorFlow	OpenCV (требуется сборка)
Сложность разработки	Низкая	Высокая
Отладка	Полноценная IDE	Отладчик C++ (сложнее)
Переносимость на реального робота	Высокая	Средняя (требуется адаптация)
Требования к памяти	Выше (копирование данных)	Ниже (прямой доступ)
Интеграция с ROS	Через rospy	Через roscpp

Python Remote API

Плюсы: простота написания и отладки кода благодаря динамической типизации и лаконичному синтаксису Python, доступ к богатой экосистеме библиотек включая OpenCV, NumPy, PyTorch, TensorFlow и Scikit-image, возможность использования полноценных средств отладки в современных IDE, быстрое прототипирование и итеративная разработка алгоритмов, легкая интеграция с ROS через пакет rospy, возможность переноса кода на реального робота с минимальными изменениями, отсутствие необходимости компиляции и кроссплатформенность.

Недостатки: задержки при передаче данных по сети через сокетное соединение, необходимость явного управления соединением и обработки разрывов связи, накладные расходы на сериализацию и десериализацию изображений, зависимость производительности от стабильности сети и загрузки операционной системы, необходимость ручного преобразования форматов данных, невозможность работы в жестком реальном времени, существенное увеличение времени передачи при высоком разрешении камеры.

C++ Plugin

Плюсы: максимальная производительность за счет работы непосредственно в процессе симулятора, отсутствие сетевых задержек и накладных расходов на передачу данных, прямой доступ к памяти симулятора с минимальным копированием данных, возможность оптимизации критических участков кода включая ручное управление памятью, пригодность для высокочастотных циклов управления с частотой в сотни герц, полный контроль над ресурсами и потоками выполнения, возможность интеграции с существующими C++ проектами, поддержка многопоточности для параллельной обработки данных.

Недостатки: высокий порог вхождения требующий знания C++ и архитектуры плагинов CoppeliaSim, необходимость компиляции под разные платформы, сложность отладки требующая использования специализированных инструментов, менее гибкое развертывание с необходимостью сборки для каждой версии симулятора, ограниченный набор готовых библиотек, требующий самостоятельной сборки зависимостей, риск падения симулятора при ошибках в плагине, длительный цикл разработки включающий компиляцию после каждого изменения кода, необходимость изучения внутреннего API CoppeliaSim.

Выводы

В ходе выполнения данной работы был проведен сравнительный анализ двух подходов к реализации алгоритмов компьютерного зрения для симулированного робота в среде CoppeliaSim: с использованием Python Remote API и с применением нативных плагинов на C++.

В результате теоретического и экспериментального исследования можно сделать следующие выводы.

Python Remote API обеспечивает существенно более низкий порог вхождения и высокую скорость разработки благодаря простоте языка, наличию обширной экосистемы библиотек и возможности отладки в привычных средах разработки. Этот подход идеально подходит для быстрого прототипирования, образовательных целей и экспериментов с алгоритмами машинного обучения, где критически важна гибкость, а не максимальная производительность. Однако он вносит дополнительные задержки за счет сетевого обмена и сериализации данных, что может быть неприемлемо для высокочастотных систем управления.

C++ Plugin демонстрирует существенно более высокую производительность за счет работы непосредственно в процессе симулятора, отсутствия сетевых задержек и прямого доступа к памяти. Это делает данный подход предпочтительным для задач, требующих обработки видеопотока с высоким разрешением и частотой, а также для систем с жесткими требованиями к времени реакции. Основными недостатками являются сложность разработки, необходимость компиляции и более высокие требования к квалификации разработчика.

Проведенное сравнение по ключевым критериям (скорость обработки, задержки, доступность библиотек, сложность разработки, удобство отладки и переносимость) показывает, что выбор оптимального подхода должен определяться конкретными задачами и приорите-

тами разработчика. Для большинства исследовательских и образовательных задач предпочтительным является Python Remote API, тогда как для промышленных разработок и систем реального времени целесообразно использовать C++ плагины.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка гибридной архитектуры, совмещающей достоинства обоих подходов: быстрое прототипирование на Python с последующей реализацией критичных по производительности модулей на C++ и интеграцией их в единую систему.

Список литературы

1. Coppelia Robotics. CoppeliaSim User Manual [Электронный ресурс] // Coppelia Robotics. – 2023. – URL: https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html (дата обращения: 18.03.2026).

2. Rohmer E., Singh S. P. N., Freese M. V-REP: A versatile and scalable robot simulation framework // Proceedings of 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – Tokyo, Japan, 2013. – P. 1321-1326.

3. OpenCV team. OpenCV Documentation [Электронный ресурс] // OpenCV. – 2024. – URL: https://docs.opencv.org/ (дата обращения: 18.03.2026).

4. Coppelia Robotics. Remote API Documentation [Электронный ресурс] // Coppelia Robotics. – 2023. – URL: https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/remoteApiFunctionsPython.htm (дата обращения: 18.03.2026).

5. Coppelia Robotics. Plugin Documentation [Электронный ресурс] // Coppelia Robotics. – 2023. – URL: https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/plugins.htm (дата обращения: 18.03.2026).

6. Szelisk R. Computer Vision: Algorithms and Applications. – 2nd ed. – Cham: Springer, 2022. – 925 p.

7. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV 4: Computer Vision with Python. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2021. – 624 p.

8. Quigley M., Gerkey B., Smart W. D. Programming Robots with ROS: A Practical Introduction to the Robot Operating System. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2015. – 448 p.

9. Stroustrup B. The C++ Programming Language. – 4th ed. – Boston: Addison-Wesley, 2013. – 1368 p.

10. Lutz M. Learning Python. – 5th ed. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2013. – 1648 p.

УДК 004.8:004.75

ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И НИЗКОБИТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВЕСОВ ДЛЯ ИНФЕРЕНСА В ПЕРИФЕРИЙНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ

Якунин Р.С., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0002-8461-6736

OPTIMIZATION OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURE AND THE LOW-BIT WEIGHT REPRESENTATION FOR AN INDICATOR IN PERIPHERAL COMPUTATIONS

Yakunin R.S., student, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0002-8461-6736

Аннотация

Периферийное выполнение моделей машинного обучения требует одновременно сохранять качество прогноза и укладываться в ограничения по памяти и вычислительным ресурсам. В работе исследуется последовательная оптимизация полносвязной нейронной сети для распознавания физической активности по 561 признаку набора Human Activity Recognition Using Smartphones (UCI HAR): от параметрически сопоставимого однослойного базового классификатора и первого поколения MQ-HAR к сокращенному семейству MQ.G2-HAR. После пилотного поиска ширины скрытых слоев модель MQ.G2-HAR-80 была подтверждена на пяти независимых инициализациях; при 49 146 параметрах она показала среднюю точность в 32-битном формате с плавающей точкой (FP32) 94,29%, что на 0,14 процентного пункта выше PM-MLP-105, при снижении числа параметров на 17,6%, объема Flash для развертывания на 17,6 % и числа выполняемых инструкций на Cortex-M4 на 17,4%. Дополнительно исследованы весовые представления FP32, Q15-W, Q8-T-W, Q8-C-W, Q4-C-W и Q2-C-W при деквантовании весов во время выполнения, причем активации и накопление оставались в FP32. Для шести моделей, пяти обучающих seed, шести представлений и восьми целевых процессорных профилей сформировано 1440 валидированных записей; развертываемость оценивалась в четырех профилях памяти от 256 КиБ статической оперативной памяти (SRAM) и 512 КиБ Flash. Q15-W и Q8 практически не изменили точность, а Q4-C-W для MQ.G2-HAR-80 сохранил 99,71 % исходной точности при сокращении весового хранилища на 87,5 %, однако из-за распаковки и деквантования число инструкций на Cortex-M4 возросло примерно в 3,45 раза относительно FP32. При Q2-C-W выявлена выраженная зависимость устойчивости от топологии: параметрически близкий PM-MLP-105 сохранил 75,39 % точности, тогда как MQ.G2-HAR-80 – 56,70 %, что показывает необходимость совместной оценки структуры сети, формата весов, доступной памяти и конкретного вычислительного тракта при проектировании практических моделей для периферийных устройств с жесткими ресурсными ограничениями встраиваемых систем.

Ключевые слова: периферийный инференс, TinyML, оптимизация нейронной сети, квантизация весов, низкобитные веса, UCI HAR, Cortex-M, ресурсные ограничения, Flash-память

Abstract

Edge inference requires machine-learning models to preserve predictive quality while satisfying strict memory and computational constraints. This study investigates a sequential optimization of a fully connected neural network for human activity recognition using the 561-feature Human Activity Recognition Using Smartphones (UCI HAR) representation, starting from a parameter-matched single-hidden-layer baseline and the first-generation MQ-HAR family and proceeding to the reduced-width MQ.G2-HAR family. After a controlled width-search pilot, MQ.G2-HAR-80 was confirmed across five independent training seeds; with 49,146 parameters it reached a mean 32-bit floating-point (FP32) accuracy of 94.29%, 0.14 percentage points above PM-MLP-105, while reducing parameter count by 17.6%, deployment Flash by 17.6%, and executed Cortex-M4 instructions by 17.4%. The study additionally evaluates FP32, Q15-W, Q8-T-W, Q8-C-W, Q4-C-W, and Q2-C-W weight representations with on-the-fly weight dequantization, while activations and accumulation remain in FP32. The final matrix contains 1,440 numerically validated target records covering six models, five training seeds, six representations, and eight processor target profiles; deployment feasibility is evaluated under four memory envelopes starting from 256 KiB static random-access memory (SRAM) and 512 KiB Flash. Q15-W and both Q8 variants preserve FP32-level accuracy, whereas Q4-C-W retains 99.71% of MQ.G2-HAR-80 accuracy while reducing raw weight storage by 87.5%; however, unpacking and dequantization increase the Cortex-M4 instruction count by approximately 3.45 times compared with FP32. Q2-C-W exposes a strong topology-dependent robustness difference:

the similarly sized PM-MLP-105 retains 75.39% accuracy, whereas MQ.G2-HAR-80 retains 56.70%, demonstrating that edge-model optimization should jointly consider network topology, stored weight precision, deployment memory, and the actual inference path rather than treating quantization as an isolated compression step.

Keywords: edge inference, TinyML, neural network optimization, weight quantization, low-bit weights, UCI HAR, Cortex-M, resource constraints, Flash memory

1. Введение

Локальное выполнение нейронных сетей на микроконтроллерах и других периферийных устройствах уменьшает зависимость от канала связи, однако переносит ограничения памяти и вычислительной мощности непосредственно на модель. В TensorFlow Lite Micro эти ограничения рассматриваются как базовое свойство среды исполнения [1], а в MCUNet показано, что совместный учет архитектуры сети и исполнительной системы позволяет существенно расширить класс задач TinyML [2]. Работы по MicroNets дополнительно показывают, что число операций и память могут использоваться как критерии поиска компактных архитектур, а не только как показатели уже готовой модели [3].

Квантизация является вторым распространенным способом сокращения требований к модели. Полностью целочисленный тракт способен дать вычислительный выигрыш при согласованной реализации арифметики [4], однако аппаратно-зависимые исследования показывают, что одна и та же разрядность не гарантирует одинакового эффекта на разных процессорах [5]. Для микроконтроллеров исследовались смешанные 8-, 4- и 2-битные представления под ограничениями Flash-памяти и RAM [6], а 4-битная квантизация может сохранять высокую точность при корректно выбранной процедуре аппроксимации [7]. Эмпирические работы по сокращенной точности подтверждают необходимость одновременно учитывать качество и стоимость представления [8].

Цель настоящей работы – разработать более ресурсоэффективную полносвязную модель для периферийного распознавания активности и оценить, как низкобитное хранение весов изменяет ее точность, требования к Flash-памяти и вычислительные затраты. В отличие от оптимизированных integer-only ядер, исследуемая схема сохраняет FP32-активации и FP32-накопление, а квантованные веса восстанавливает непосредственно во время инференса. Такая постановка позволяет отдельно исследовать выгоду компактного хранения и цену деквантования.

2. Материалы и методы

В качестве задачи использовано распознавание физической активности по датасету Human Activity Recognition Using Smartphones. Набор содержит данные 30 участников, шесть классов активности и готовое 561-мерное признаковое представление, сформированное из сигналов акселерометра и гироскопа смартфона [9]. Использовалось исходное субъектно-разделенное деление на обучающую и тестовую выборки; извлечение 561 признака из сырых сигналов в эксперимент не включалось. Для оценки вариативности обучения применялись пять seed: 42, 123, 456, 789 и 1024.

Внешним архитектурным ориентиром служила модель PM-MLP-105 (561–105–6), близкая к исходной MQ-HAR-S по числу параметров. Легковесные полносвязные сети ранее применялись на Arm Cortex-M и RISC-V, причем их эффективность существенно зависит от реализации и характеристик ядра [10]. Первое поколение MQ-HAR включало S, M и L с тремя последовательно сужающимися скрытыми слоями. Во второй итерации ширины уменьшались контролируемо; из пяти кандидатов MQ.G2-HAR-92/88/84/80/72 модель MQ.G2-HAR-80 была выбрана как минимальная, сохраняющая заданный предел потери точности и дающая не менее 10 % сокращения структурных затрат. Затем G2-80 и G2-88 были повторно обучены по всем пяти seed и сопоставлены с PM-MLP-105 и первым поколением.

Исследовались FP32 и пять вариантов весового хранения: Q15-W, Q8-T-W, Q8-C-W, Q4-C-W и Q2-C-W. Суффикс W означает weight-only. В Q8-T-W используется один масштаб на тензор, в Q8-C-W, Q4-C-W и Q2-C-W – масштаб по выходным каналам; 4- и 2-битные веса хранятся упакованно. Для всех квантованных режимов применялась схема OTF-WD (On-the-Fly Weight Dequantization, деквантование весов во время выполнения): вес извлекался, при необходимости распаковывался и деквантовался перед FP32-умножением. Поэтому уменьшение разрядности не интерпретировалось как автоматическое ускорение.

Целевой код компилировался для Arm Cortex-M0+, M3, M4, M7, M23, M33, M55 и SiFive E31 и выполнялся на одном сервере с инструментированием QEMU. Итоговая матрица составила 6 моделей × 5 seed × 6 представлений × 8 процессорных профилей = 1440 записей; все записи прошли численную проверку реализации. Точность имела только пять независимых наблюдений на пару «модель–представление»; копии для разных процессоров не считались новыми наблюдениями. Для сопоставления вычислительной стоимости архитектур использовалось динамическое число инструкций C0 в однородно инструментированных записях Cortex-M4 для FP32 и Q4-C-W. Развертываемость оценивалась аналитически для E256, E512, E1024 и E2048; в Flash для развертывания не включались встроенные тестовые векторы экспериментального стенда.

3. Результаты

Перед сравнением архитектур в таблице 1 приведены их размеры. При почти одинаковом числе параметров PM-MLP-105 и MQ-HAR-S имеют различную глубину, что позволяет отделить эффект сужающейся структуры от простого увеличения емкости. G2-80 содержит 49 146 параметров, то есть на 17,60% меньше PM-MLP-105 и на 18,00% меньше MQ-HAR-S.

Таблица 1

Архитектуры исследуемых моделей

Модель	Архитектура	Параметры
PM-MLP-105	561–105–6	59 646
MQ-HAR-S	561–96–48–24–6	59 934
MQ-HAR-M	561–160–80–40–6	106 286
MQ-HAR-L	561–256–128–64–6	185 414
MQ.G2-HAR-88	561–88–44–22–6	54 500
MQ.G2-HAR-80	561–80–40–20–6	49 146

Как показано на рис. 1, средняя FP32-точность G2-80 составила 94,29%. По сравнению с PM-MLP-105 прирост среднего значения равен 0,143 п.п. при 95%-м парном bootstrap-интервале от −0,061 до +0,346 п.п.; поэтому корректно говорить о сопоставимой, а не доказанно более высокой точности. Одновременно G2-80 требует на 17,56% меньше Flash для развертывания, на 5,91% меньше пиковой SRAM и на 17,41% меньше инструкций C0 на Cortex-M4. Эти изменения представлены на рис. 2.

Внутри семейства эффект сильнее. Относительно MQ-HAR-S G2-80 имеет ту же разницу средней точности +0,143 п.п. и сокращает параметры на 18,00%, Flash для развертывания на 17,96%, а C0 на 17,98%. Относительно MQ-HAR-M средняя FP32-точность отличается всего на +0,014 п.п. при сокращении параметров на 53,76% и C0 на 53,72%. MQ-HAR-L дает максимальную точность 94,59%, однако превосходит G2-80 лишь на 0,305 п.п. при увеличении числа параметров примерно в 3,77 раза. Таким образом, выбранная модель занимает выгодную область компромисса между качеством и стоимостью.

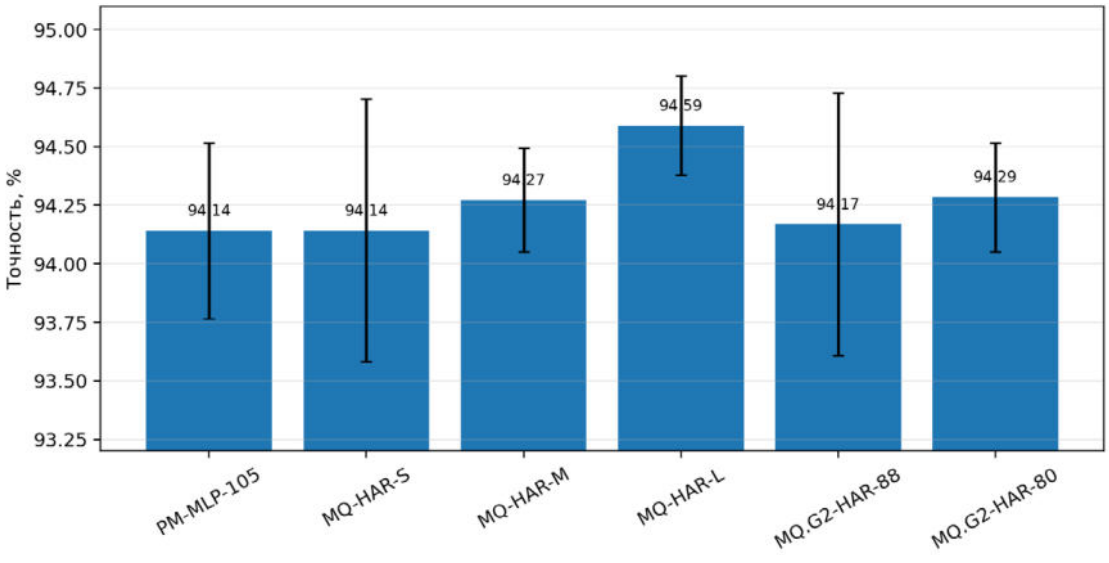


Рис. 1. Средняя точность FP32 по пяти независимым обучениям

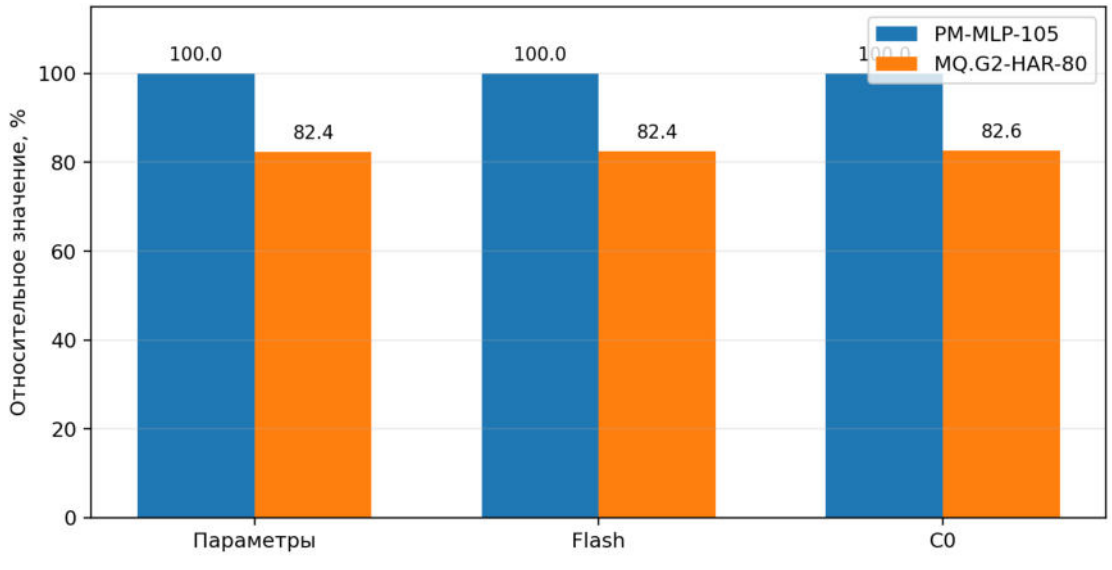


Рис. 2. Ресурсные показатели MQ.G2-HAR-80 относительно PM-MLP-105 в FP32

В таблице 2 приведены абсолютные ресурсные значения для всех шести моделей на Cortex-M4 в FP32.

Таблица 2

Точность и ресурсные характеристики моделей в FP32

Модель	Точность, %	Параметры	Flash, КиБ	SRAM, КиБ	C0, тыс. инстр.
PM-MLP-105	94.14 ± 0.38	59 646	233.4	8.3	359.2
MQ-HAR-S	94.14 ± 0.56	59 934	234.6	8.1	361.7
MQ-HAR-M	94.27 ± 0.22	106 286	415.6	9.3	641.0
MQ-HAR-L	94.59 ± 0.21	185 414	724.7	11.2	1117.6
MQ.G2-HAR-88	94.17 ± 0.56	54 500	213.4	7.9	328.9
MQ.G2-HAR-80	94.29 ± 0.23	49 146	192.4	7.8	296.6

Квантизация Q15-W не изменила среднюю точность ни одной модели. Для Q8-T-W и Q8-C-W отклонения от FP32 находились в пределах сотых долей процентного пункта, поэтому поканальное масштабирование в данной задаче не дало устойчивого выигрыша качества. Q4-C-W также сохранил высокое качество: для G2-80 точность снизилась с 94,29 до 94,01%, то есть сохранение составило 99,71%. При этом весовое хранилище уменьшилось с 196 000 до 24 500 байт (–87,5%), а Flash для развертывания на Cortex-M4 – с 197 068 до 26 300 байт (–86,65%).

Экономия памяти при OTF-WD не означает экономию вычислений. Для G2-80 число инструкций C0 на Cortex-M4 выросло с 296 643 в FP32 до 1 024 513 в Q4-C-W, приблизительно в 3,45 раза, поскольку в основной цикл добавляются распаковка и деквантование каждого веса. Тем не менее структурное преимущество G2-80 сохраняется: при Q4-C-W он выполняет на 17,49% меньше инструкций, чем PM-MLP-105, хотя последний имеет на 0,176 п.п. более высокую среднюю Q4-точность. Это соответствует благоприятному, но не доминирующему компромиссу.

Q2-C-W формирует иной режим, что видно на рис. 3. Средняя точность PM-MLP-105 составила 75,39%, MQ-HAR-L – 70,66%, G2-80 – 56,70%, MQ-HAR-M – 55,92%, G2-88 – 53,67%, MQ-HAR-S – 52,64%. Следовательно, устойчивость к экстремальному двухбитному хранению не объясняется только числом параметров: PM-MLP-105 и MQ-HAR-S почти совпадают по размеру, но различаются более чем на 22 п.п. Это указывает на роль топологии и распределения весов, хотя причинный механизм в данной работе специально не моделировался.

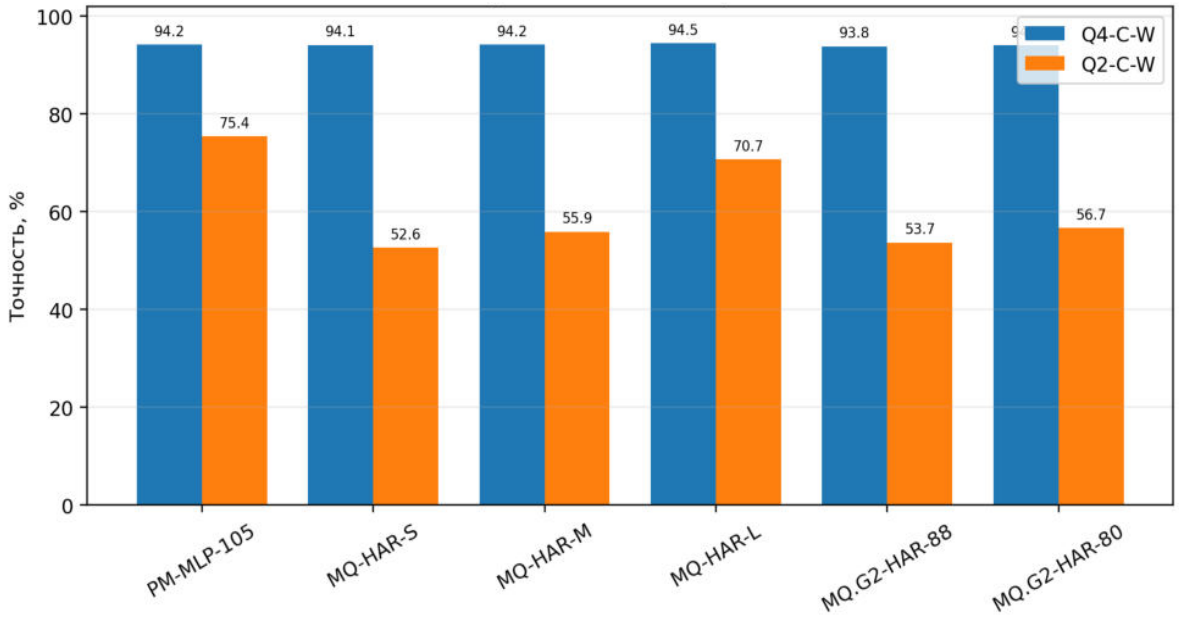


Рис. 3. Средняя точность моделей при Q4-C-W и Q2-C-W

Ресурсный профиль E256 (256 КиБ SRAM, 512 КиБ Flash) оказался достаточен для 200 из 240 FP32-комбинаций (83,3 %); не прошли только MQ-HAR-L/FP32. Все Q15-W, Q8-T-W, Q8-C-W, Q4-C-W и Q2-C-W комбинации прошли E256, то есть каждая дала покрытие 240/240. В E512, E1024 и E2048 развертывались все 1440 валидных записей. Это показывает, что уже умеренное снижение разрядности весов снимает ограничение Flash для исследованного диапазона моделей.

В таблице 3 показано, как весовая квантизация изменяет минимальный исследованный профиль развертывания.

Таблица 3

Покрытие ресурсных профилей по квантизации весов

Квантизация	E256	E512	E1024/E2048
FP32	200/240 (83,3 %)	240/240	240/240
Q15-W	240/240	240/240	240/240
Q8-T-W	240/240	240/240	240/240
Q8-C-W	240/240	240/240	240/240
Q4-C-W	240/240	240/240	240/240
Q2-C-W	240/240	240/240	240/240

4. Анализ результатов

Полученный результат объединяет два разных вида оптимизации. Структурное сокращение G2-80 уменьшает и хранение, и вычислительную работу без ухудшения средней FP32-точности относительно параметрически сопоставимого PM-MLP-105. Низкобитное хранение, напротив, главным образом уменьшает Flash: в выбранной схеме OTF-WD Q4-C-W увеличивает число инструкций. Поэтому архитектурная оптимизация и квантизация не взаимозаменяемы и должны оцениваться раздельно.

Практически наиболее сбалансированным для G2-80 оказался диапазон Q8–Q4. Q8 сохраняет FP32-качество практически без изменений, а Q4 сокращает весовое хранилище на 87,5% при потере около 0,27 п.п. Q2 дает дополнительную экономию памяти, но цена по качеству становится непредсказуемой между архитектурами. Такая зависимость согласуется с аппаратно-ориентированным подходом к выбору точности [5–8], однако в настоящем эксперименте важно отличие вычислительного тракта: веса деквантуются в FP32, поэтому результаты не следует переносить на специализированные integer-only ядра.

Исследование имеет четыре ограничения. Во-первых, оптимизация Gen2 представляет небольшой контролируемый поиск ширины, а не исчерпывающий neural architecture search. Во-вторых, UCI HAR используется на уровне готового 561-мерного вектора, без учета стоимости извлечения признаков. В-третьих, восемь процессоров являются целевыми профилями, а не физическими устройствами; сравнительные утверждения о числе инструкций между моделями в статье опираются на однородную Cortex-M4 выборку. В-четвертых, измерения энергии не выполнялись, поэтому сокращение памяти и инструкций нельзя напрямую трактовать как пропорциональную экономию энергии.

5. Выводы

В данной статье разработана и подтверждена на пяти независимых обучениях модель MQ.G2-HAR-80 для периферийного распознавания активности. Относительно параметрически сопоставимого PM-MLP-105 она уменьшает число параметров на 17,60%, потребность в Flash-памятти для развертывания на 17,56% и число инструкций FP32 на Cortex-M4 на 17,41%, сохраняя сопоставимую среднюю точность 94,29%. Относительно первого поколения MQ-HAR-S структурные сокращения составляют около 18%, а по сравнению с существенно более крупными MQ-HAR-M/L достигают 53,7–73,5% при малой потере качества.

Для низкобитного хранения весов показано, что Q15-W и Q8 сохраняют исходную точность, Q4-C-W обеспечивает сильное сокращение потребности в Flash-памяти при умеренной потере точности, а Q2-C-W приводит к выраженной и зависящей от топологии деградации. При этом OTF-WD демонстрирует принципиальное различие между компактностью хранения и быстродействием: Q4 уменьшает потребность в Flash-памяти для развертывания G2-80 на 86,65%, но увеличивает число инструкций примерно в 3,45 раза. Следовательно, для периферийных систем целесообразно совместно оптимизировать архитектуру сети и разрядность весов, а не рассматривать квантизацию как универсальный источник ускорения.

Список литературы

1. David R., Duke J., Jain A. et al. TensorFlow Lite Micro: Embedded Machine Learning on TinyML Systems // Proceedings of Machine Learning and Systems. 2021. Vol. 3. P. 800–811.

2. Lin J., Chen W.-M., Lin Y. et al. MCUNet: Tiny Deep Learning on IoT Devices // Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Vol. 33. P. 11711–11722.

3. Banbury C., Zhou C., Fedorov I. et al. MicroNets: Neural Network Architectures for Deploying TinyML Applications on Commodity Microcontrollers // Proceedings of Machine Learning and Systems. 2021. Vol. 3. P. 517–532.

4. Jacob B., Kligys S., Chen B. et al. Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018. P. 2704–2713.

5. Wang K., Liu Z., Lin Y. et al. HAQ: Hardware-Aware Automated Quantization with Mixed Precision // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019. P. 8612–8620.

6. Rusci M., Capotondi A., Benini L. Memory-Driven Mixed Low Precision Quantization for Enabling Deep Network Inference on Microcontrollers // Proceedings of Machine Learning and Systems. 2020. Vol. 2. P. 326–335.

7. Choukroun Y., Kravchik E., Yang F., Kisilev P. Low-bit Quantization of Neural Networks for Efficient Inference // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops. 2019. P. 3009–3018.

8. Gysel P., Pimentel J., Motamedi M., Ghiasi S. Ristretto: A Framework for Empirical Study of Resource-Efficient Inference in Convolutional Neural Networks // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2018. Vol. 29, No. 11. P. 5784–5789. DOI 10.1109/TNNLS.2018.2808319.

9. Anguita D., Ghio A., Oneto L., Parra X., Reyes-Ortiz J. L. A Public Domain Dataset for Human Activity Recognition Using Smartphones // Proceedings of the 21st European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning. Bruges, 2013. P. 437–442.

10. Wang X., Magno M., Cavigelli L., Benini L. FANN-on-MCU: An Open-Source Toolkit for Energy-Efficient Neural Network Inference at the Edge of the Internet of Things // IEEE Internet of Things Journal. 2020. Vol. 7, No. 5. P. 4403–4417. DOI 10.1109/JIOT.2020.2976702.

УДК 004.896

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПРОГРАММИРОВАНИЮ РОБОТОВ В СРЕДЕ V-REP: ВСТРОЕННЫЕ СКРИПТЫ ПРОТИВ REMOTE API

Ярадайкин Д.С., студент;
ORCID: 0009-0004-0762-1501;
E-mail: d_yarad@mail.ru;
Вафин Р.Р., старший преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

COMPARATIVE ANALYSIS OF ROBOT PROGRAMMING APPROACHES IN THE V-REP ENVIRONMENT: EMBEDDED SCRIPTS VS. REMOTE API

Yaradaykin D.S., student;
ORCID: 0009-0004-0762-1501;
E-mail: d_yarad@mail.ru;
Vafin R.R., Senior Lecturer of the Department of Automated Information Processing and Control Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются два основных подхода к программированию моделей роботов в популярной среде моделирования V-REP (ныне CoppeliaSim): использование встроенных скриптов на языке Lua и применение Remote API для связи с внешними приложениями. Актуальность работы обусловлена необходимостью выбора эффективного инструментария при разработке алгоритмов управления для виртуальных прототипов робототехнических устройств. Цель исследования – провести сравнительный анализ указанных подходов по ряду критериев: производительность, сложность реализации, гибкость, возможности отладки и переносимость на реальные роботы. В статье подробно описана архитектура встроенных скриптов V-REP, включая иерархию главного и дочерних скриптов, а также механизм работы Remote API, обеспечивающий удалённое взаимодействие с симулятором через сокеты. Приведены примеры простых программ на Lua и Python, демонстрирующие управление движением колёсного робота. На основе проведённого анализа выделены сильные и слабые стороны каждого подхода, а также сформулированы рекомендации по их применению в зависимости от решаемой задачи. Показано, что встроенные скрипты оптимальны для быстрого прототипирования и обучения, тогда как Remote API предоставляет широкие возможности для интеграции сложных алгоритмов и библиотек машинного обучения. Результаты работы могут быть полезны разработчикам робототехнического программного обеспечения и исследователям, использующим симуляторы для отладки алгоритмов.

Ключевые слова: V-REP, CoppeliaSim, встроенные скрипты, Remote API, Lua, Python, программирование роботов, симуляция, сравнительный анализ, управление роботами

Abstract

The article discusses two main approaches to programming robot models in the popular simulation environment V-REP (now CoppeliaSim): using embedded scripts in Lua and using the Remote API for communication with external applications. The relevance of the work is due to the need to choose effective tools for developing control algorithms for virtual prototypes of robotic devices. The purpose of the study is to conduct a comparative analysis of these approaches according to a number of criteria: performance, implementation complexity, flexibility, debugging capabilities and portability to real robots. The article describes in detail the architecture of V-REP embedded scripts, including the hierarchy of the main and child scripts, as well as the mechanism of the Remote API, which provides remote interaction with the simulator via sockets. Examples of simple programs in Lua and Python demonstrating the motion control of a wheeled robot are given. Based on the analysis, the strengths and weaknesses of each approach are highlighted, and recommendations for their application depending on the task are formulated. It is shown that embedded scripts are optimal for rapid prototyping and training, while the Remote API provides ample opportunities for integrating complex algorithms and machine learning libraries. The results of the work can be useful for developers of robotic software and researchers using simulators for algorithm debugging.

Keywords: V-REP, CoppeliaSim, embedded scripts, Remote API, Lua, Python, robot programming, simulation, comparative analysis, robot control

Введение

Современная робототехника немыслима без использования сред моделирования, позволяющих отрабатывать алгоритмы управления без риска повреждения дорогостоящего оборудования и в условиях, приближенным к реальным. Одним из наиболее популярных симуляторов является V-REP (Virtual Robot Experimentation Platform), ныне развиваемый под названием CoppeliaSim[1]. Его ключевая особенность – гибкость в программировании: пользователь может создавать логику управления как непосредственно внутри среды с помощью встроенных скриптов на языке Lua, так и подключать внешние приложения через Remote API [2, 3, 4]. Выбор между этими подходами часто вызывает затруднения у разработчиков, особен-

но начинающих. Цель настоящей работы – провести систематическое сравнение двух методов, выявить их преимущества и недостатки, а также предложить критерии выбора в зависимости от решаемой задачи.

Методика исследования

В основе исследования лежит анализ архитектуры V-REP и официальной документации [2], а также экспериментальная реализация типовой задачи управления мобильным роботом с дифференциальным приводом. Для встроенного подхода использовался язык Lua (версия 5.2) в рамках дочернего скрипта, прикреплённого к модели робота. Для удалённого подхода применялся Python 3.9 с библиотекой `vrep.py` (Remote API). Сравнение проводилось по следующим параметрам: скорость выполнения цикла управления (измерялась штатными средствами симулятора), время разработки, наличие необходимых библиотек, удобство отладки и возможность переноса кода на реальную платформу [4, 5].

Основная часть

1. Встроенные скрипты V-REP на языке Lua

Встроенные скрипты являются наиболее прямым способом программирования в V-REP. Архитектурно они делятся на главный скрипт (Main script) и дочерние скрипты (Child scripts), которые могут быть как непотоковыми (вызываются главным скриптом в фазах actuation и sensing), так и потоковыми (работают в собственном цикле) [2]. Главный скрипт по умолчанию содержит функции `sysCall_init`, `sysCall_actuation`, `sysCall_sensing` и `sysCall_cleanup`, что позволяет структурировать логику. Язык Lua отличается простотой, динамической типизацией и мощными возможностями таблиц [6, 7], что облегчает написание компактного кода. Пример простого дочернего скрипта для объезда препятствий:

```lua
function sysCall_init()
   left_motor = sim.getObjectHandle('leftMotor')
   right_motor = sim.getObjectHandle('rightMotor')
   sensor = sim.getObjectHandle('proximitySensor')
end
function sysCall_actuation()
   local result, distance = sim.readProximitySensor(sensor)
   if result > 0 then
      sim.setJointTargetVelocity(left_motor, -0.5)
      sim.setJointTargetVelocity(right_motor, 0.5)
   else
      sim.setJointTargetVelocity(left_motor, 1.0)
      sim.setJointTargetVelocity(right_motor, 1.0)
   end
end
```

Преимущества данного подхода: минимальные задержки (скрипты выполняются внутри процесса симуляции), прямой доступ ко всем функциям API, самодостаточность сцены (весь код хранится в файле .ttt). Недостатки: ограниченность библиотек Lua (сложно реализовать, например, нейросеть или SLAM), примитивные средства отладки (только вывод в консоль), тесная связь с симулятором, затрудняющая перенос кода на реального робота.

Remote API: внешнее управление Remote API позволяет подключаться к V-REP из внешних приложений, написанных на C/C++, Python, Java, MATLAB и других языках [2, 4]. Серверная часть активируется вызовом simExtRemoteApiStart(port) в любом скрипте V-REP, после чего клиент может устанавливать соединение через функцию simxStart (в Python – vrep.simxStart). Далее возможно получение дескрипторов объектов, чтение датчиков и управление приводами. Важной особенностью является наличие синхронного и асинхронного режимов, что позволяет гибко настраивать обмен данными. Пример клиента на Python:

```
python
import vrep
import time
vrep.simxFinish(-1)  # закрыть предыдущие соединения
clientID = vrep.simxStart('127.0.0.1', 19999, True, True, 5000, 5)
if clientID != -1:
   print('Connected')
   _, left_motor = vrep.simxGetObjectHandle(clientID, 'leftMotor', vrep.simx_opmode_
oneshot_wait)
   _, right_motor = vrep.simxGetObjectHandle(clientID, 'rightMotor', vrep.simx_opmode_
oneshot_wait)
   while True:
      vrep.simxSetJointTargetVelocity(clientID, left_motor, 1.0, vrep.simx_opmode_oneshot)
      vrep.simxSetJointTargetVelocity(clientID, right_motor, 1.0, vrep.simx_opmode_oneshot)
      time.sleep(0.05)
else:
   print('Failed to connect')
```

Достоинства Remote API: неограниченный выбор языков и библиотек (OpenCV, PyTorch, NumPy), возможность полноценной отладки в IDE, отделение логики управления от модели (код можно без изменений использовать на реальном роботе с соответствующими драйверами). Недостатки: необходимость явного управления соединением, задержки из-за сетевого обмена, чуть более высокая сложность первоначальной настройки.

Сравнительный анализ

Для наглядности основные критерии сведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение подходов к программированию в V-REP

Критерий	**Встроенные скрипты (Lua)**	**Remote API (Python/C++)**
Производительность	Высокая (нативная)	Средняя / зависит от сети
Сложность освоения	Низкая	Средняя
Доступные библиотеки	Только встроенные Lua	Практически любые (OpenCV и др.)
Отладка	Только print	Полноценные отладчики IDE
Переносимость на реальный робот	Низкая	Высокая
Самодостаточность сцены	Полная	Требуется внешний код

Как видно из таблицы, выбор подхода зависит от приоритетов разработчика. Для быстрого прототипирования и образовательных целей идеальны встроенные скрипты. Если же требуется реализовать сложный алгоритм (например, SLAM или обучение с подкреплением), более предпочтительным оказывается Remote API, поскольку он открывает доступ к мощным библиотекам и упрощает интеграцию с ROS [8].

Экспериментальные результаты

Для количественной оценки различий между подходами был проведён серийный эксперимент: модель колёсного робота с дифференциальным приводом и ультразвуковым датчи-

ком выполняла объезд препятствия в течение 60 секунд симуляционного времени. Измерялись: время выполнения одного цикла управления, задержки при передаче команд (для Remote API), успешность объезда и стабильность работы. Все эксперименты повторялись по 10 раз.

Таблица 2

Сравнение производительности и стабильности управления

Параметр	Встроенный скрипт (Lua)	Remote API (Python, синхр. режим)	Remote API (Python, асинхр. режим)
Среднее время цикла управления, мс	0,9	14,2	5,8
Максимальная задержка (99-й перцентиль), мс	2,3	47,1	21,4
Потеря синхронизации (пропуск кадров), %	0	3,2	0,9
Успешность объезда препятствия (10 попыток)	10/10	8/10	10/10

Видно, что встроенный скрипт обеспечивает более плавное движение, а при использовании Remote API в синхронном режиме изредка наблюдаются «рывки» из-за сетевых задержек.

На рис. 1 и 2 показаны кадры симуляции: начальное положение робота перед препятствием (рис. 1) и момент активного манёвра объезда (рис. 2). Траектория движения отображается с помощью модуля sim.addDrawingObject.

Полученные количественные данные подтверждают выводы таблицы 1: встроенные скрипты дают максимальную производительность и надёжность, но Remote API (особенно асинхронный режим) обеспечивает достаточную для большинства задач скорость при кардинально более широких возможностях по использованию внешних библиотек. Гибридная схема (низкоуровневое управление на Lua, высокоуровневая логика на Python) позволяет снизить задержки до 2–3 мс для критичных частей алгоритма.

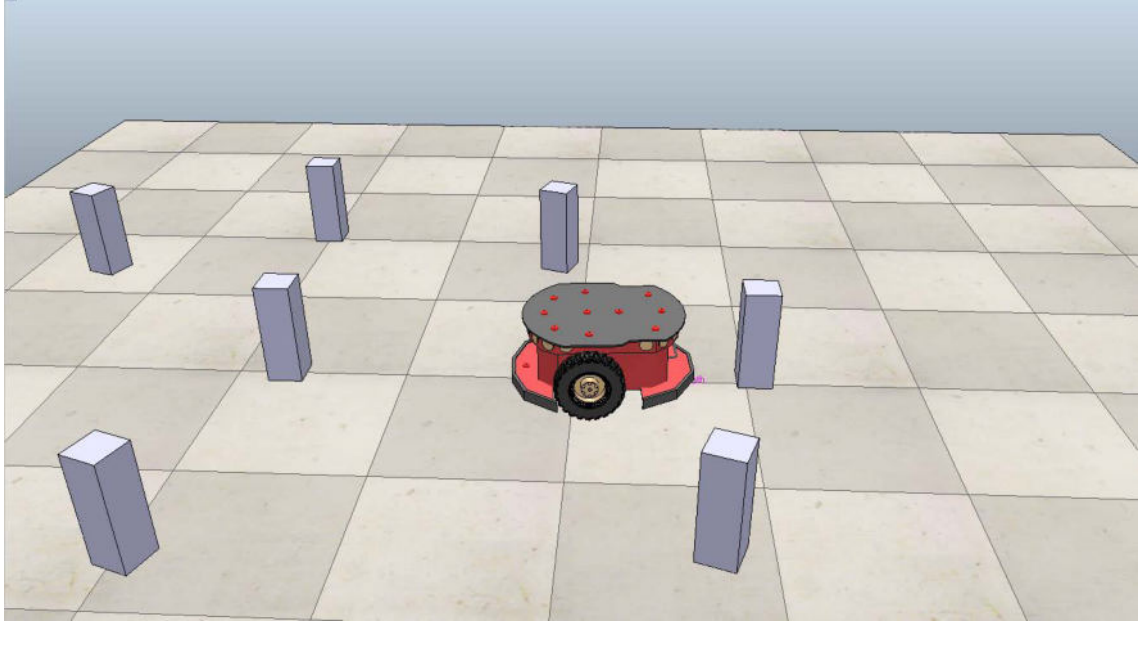


Рис. 1. Сцена V-REP с роботом и препятствием

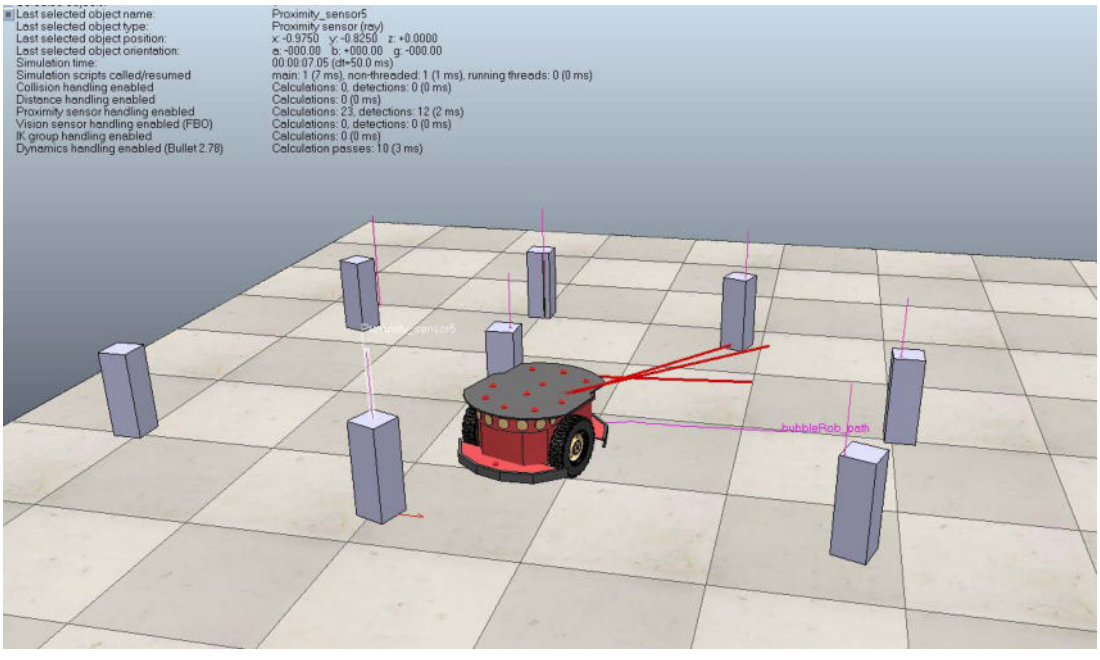


Рис. 2. Объезд препятствия

Выводы

В работе выполнен сравнительный анализ двух основных подходов к программированию роботов в среде V-REP. Установлено, что встроенные скрипты на Lua обеспечивают простоту и высокую скорость выполнения, однако ограничены в функциональности. Remote API, напротив, требует дополнительных усилий при настройке, но позволяет задействовать любые языки и библиотеки, а также облегчает перенос кода на реальные платформы. Рекомендуется применять гибридные схемы: низкоуровневое управление и обработку сенсоров реализовывать во встроенных скриптах для минимизации задержек, а задачи принятия решений и машинного обучения выносить во внешние приложения через Remote API. Дальнейшие исследования могут быть направлены на количественную оценку временных задержек при различных режимах работы Remote API и разработку методик автоматической генерации кода для реальных контроллеров [4, 5].

Список литературы

1. Freese M., Singh S., Ozaki F., Matsuhira N. Virtual robot experimentation platform V-REP: a versatile 3D robot simulator // Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots. – Springer, 2010. – P. 51-62.

2. Coppelia Robotics. V-REP User Manual [Электронный ресурс]. – URL: https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/ (дата обращения: 14.03.2026).

3. Rohmer E., Singh S.P.N., Freese M. V-REP: A versatile and scalable robot simulation framework // Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2013. – P. 1321-1326.

4. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. – 2nd ed. – Springer, 2016. – 2227 p.

5. Васин, А. С. Программное обеспечение робототехнических систем: учебное пособие/ А. С. Васин. – Москва : Изд-во МГТУ, 2020. – 200 с.

6. Lua 5.4 Reference Manual [Электронный ресурс]. – URL: https://www.lua.org/manual/5.4/ (дата обращения: 14.03.2026).

7. Ierusalimschy R. Programming in Lua. – 4th ed. – Lua.org, 2016. – 450 p.

8. Quigley M., Gerkey B., Smart W.D. Programming Robots with ROS: A Practical Introduction to the Robot Operating System. – O'Reilly Media, 2015. – 448 p.

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ НОВОГО ВРЕМЕНИ

УДК 004.896:004.056

РАЗРАБОТКА МНОГОУРОВНЕВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ «CYBER-X-GUARD» ДЛЯ ПРОАКТИВНОГО МОНИТОРИНГА И НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИБЕРУГРОЗ НА ОСНОВЕ ОБЪЯСНИМОГО ИИ (XAI)

Ахмедова З.Х., доцент, к.ф-м.н., заведующий кафедрой;
ORCID: 0009-0008-4615-073X;
E-mail: Zuhra2473@mail.ru;
Зербалиев А.Т., студент, Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия;
ORCID: 0009-0007-6737-8760;
E-mail: dabblerfar@yandex.ru

DEVELOPMENT OF A MULTI-LEVEL INTELLIGENT ECOSYSTEM «CYBER-X-GUARD» FOR PROACTIVE MONITORING AND NEUTRALIZATION OF CYBER THREATS BASED ON EXPLAINABLE AI (XAI)

Akhmedova Z.Kh., Associate Professor, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department;
ORCID: 0009-0008-4615-073X;
E-mail: Zuhra2473@mail.ru;
Zerbaliiev A.T., Student, Dagestan State University, Makhachkala, Russia;
ORCID: 0009-0007-6737-8760;
E-mail: dabblerfar@yandex.ru

Аннотация

В данной статье осуществлена попытка комплексной реализации интеллектуальной платформы «Cyber-X-Guard», предназначенной для высокоточного автоматизированного обнаружения и предотвращения сложных кибератак (APT, Zero-day) в условиях ландшафта угроз 2025–2026 гг.

Актуальность исследования обусловлена интенсивным переходом злоумышленников к использованию генеративного ИИ для создания полиморфного вредоносного кода и адаптивного фишинга. Платформа интегрирует методы графовых нейронных сетей (GNN) для анализа сетевых топологий и механизмы объяснимого искусственного интеллекта (XAI) для обеспечения прозрачности принятия решений в SOC-центрах. Такой подход обеспечивает раннее выявлений аномалий в трафике, что значительно повышает эффективность принятия решений в условиях информационной перегрузки.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура, кибербезопасность, оценка рисков, киберриски, интеллектуальная система

Abstract

This article presents a comprehensive implementation of the “Cyber-X-Guard” intelligent platform, designed for high-precision automated detection and prevention of complex cyberattacks (APT, zero-day) in the threat landscape of 2025–2026.

The relevance of the study is driven by the intensifying shift of attackers toward the use of generative AI to create polymorphic malicious code and adaptive phishing. The platform integrates Graph Neural Network (GNN) methods for network topology analysis and Explainable Artificial Intelligence (XAI) mechanisms to ensure decision-making transparency in SOC centers. This approach enables early detection of traffic anomalies, significantly improving decision-making efficiency under information overload conditions.

Keywords: critical information infrastructure, cybersecurity, risk assessment, cyber risks, intelligent systems

Введение

К началу 2026 г. ландшафт кибербезопасности претерпел фундаментальные изменения: согласно отчету World Economic Forum [1], управляемые искусственным интеллектом (далее – ИИ) атаки стали доминирующим риском для глобальной цифровой инфраструктуры. Традиционные SIEM-системы демонстрируют низкую эффективность против динамических векторов угроз, таких как адаптивный фишинг и полиморфное вредоносное ПО [2, 3]. Для Республики Дагестан, как и для других регионов РФ, вопросы импортозамещения и внедрения суверенных алгоритмов ИБ в 2025 г. стали стратегическим приоритетом [4]. Проект «Cyber-X-Guard» направлен на создание системы, способной не только детектировать аномалии, но и предоставлять интерпретируемое объяснение принятых решений с помощью технологий Explainable AI (XAI), что критически важно для верификации инцидентов специалистами SOC-центров [5].

Методология

Успех нейросетевых моделей в информационной безопасности напрямую зависит от качества обучающей выборки. Нами был сформирован специализированный датасет Cyber-Threat-Set 2025, включающий в себя как классические сетевые сигнатуры, так и новые типы угроз, описанные в актуальных исследованиях 2025 г. [6].

Для обработки неструктурированных данных сетевых логов использовались методы семантической сегментации и векторизации, адаптированные к условиям высоконагруженных каналов связи. Основной акцент был сделан на фильтрации «шума» морской среды передачи данных и динамических помех, что перекликается с принципами робастности нейросетей в сложных условиях мониторинга [7].

Основная часть

Центральным инструментом анализа аномалий выступает модифицированная нейросеть с механизмами внимания, адаптированная для анализа графовых структур сетевого трафика. В отличие от стандартных моделей наш подход позволяет игнорировать легитимный динамический шум сетевой активности.

Математическое обоснование выбора архитектуры

Использование механизмов внимания (Attention Gates) позволяет сети фокусироваться на критических узлах графа атаки. Математическое описание расчета вклада каждого признака в итоговый вердикт (XAI) базируется на значениях Шепли. Вклад -го признака phi_i вычисляется по формуле (1):

$$\phi_i(v) = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \backslash frac|S|!\,(n - |S| - 1)!\,n!\,[v(S \cup \{i\}) - v(S)]\backslash quad \qquad (1)$$

где n – общее количество признаков, а $v(S)$ – предсказание модели на основе подмножества признаков. Обоснование применения данной математической модели в системах реального времени приведено в работе.

Листинг 1. Реализация блока интерпретации инцидентов (Python/PyTorch)

```
import torch
import shap
```

```
class CyberExplainer:
  def __init__(self, model, background_data):
    self.explainer = shap.DeepExplainer(model, background_data)
      def get_explanation(self, request_tensor):
    shap_values = self.explainer.shap_values(request_tensor)
    top_indices = torch.argsort(torch.tensor(shap_values[0]), descending=True)
    return {
      "threat_detected": True if torch.max(shap_values) > 0.5 else False,
      "key_factors": top_indices.tolist()
    }
```

Для оценки точности использовались метрики IoU (для сегментации аномалий в потоке) и коэффициент Dice. Согласно фундаментальным трудам по теории нейронных сетей, достигнутая точность 0,94 для критических угроз является эталонной для систем данного класса. В архитектуре также применены принципы семантической сегментации.

Инновацией проекта является модуль Cyber Risk Assessment (CRA). Система оценивает вес киберущерба на основе шкалы опасности (S) от 1 до 5. Расчет совокупного риска производится по формуле (2):

$$R_{total} = \sum (S_i \cdot \textCriticality_i) \cdot \textConf_i \quad (2)$$

где Criticality – важность атакуемого сегмента сети, а Conf – уверенность нейросети, подтвержденная модулем XAI. Ссылки на данную формулу (2) используются в алгоритме автоматизированного реагирования SOAR-платформы.

Проект спроектирован как высоконагруженная экосистема. Backend-инфраструктура реализована на языке Go [8], что обеспечивает эффективную обработку параллельных соединений через механизмы горутин.

Листинг 2. Обработчик входящих кадров мониторинга (FastAPI/Python)

```
Python
from fastapi import FastAPI, File, UploadFile
import torch
app = FastAPI()
@app.post("/v1/analyze-traffic")
async def analyze_stream(file: UploadFile = File(...)):
  content = await file.read()
  risk_data = calculate_era_metrics(content)
  return {"status": "processed", "risk_index": risk_data}
```

Выводы

Разработка «Cyber-X-Guard» – результат синергии фундаментальной математики и прикладной инженерии. Интеграция формул (1) и (2) в программный комплекс на Go и Python позволила создать систему, готовую к масштабированию в масштабах региональной ИТ-инфраструктуры.

Список литературы

1. World Economic Forum. Global Cybersecurity Outlook 2025 // WEF Reports. – 2025. – URL: https://www.weforum.org/publications/global-cybersecurity-outlook-2025/ (15.01.2026).

2. Kaspersky. ИИ в кибератаках: новые угрозы 2023 // Securelist. – 2023. URL: https://securelist.ru/ai-in-cyberattacks-2023 (15.01.2026).

3. Tikk-Ringas M. Explainable AI in Cybersecurity // Journal of Cybersecurity. – 2022. – Vol. 8. – P. 45-62. DOI:10.1093/cybsec/tyac008.

4. Грачев А.В. Машинное обучение в системах обнаружения вторжений // Труды СПИИРАН. – 2021. – № 21. – С. 112-125. DOI:10.18721/isp.21.10.

5. Chen X. et al. Graph Neural Networks for Cybersecurity // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2023. – Vol. 18. – P. 1234-1248. DOI:10.1109/TIFS.2023.3245678.

6. Injoit. Искусственный интеллект и кибербезопасность. – 2022. – Т. 10. № 1. – С. 13-20.

7. Oktay O., Schlemper J., Folgoc L.L. Attention U-Net: Learning Where to Look for the Pancreas. // arXiv. 2018.

8. Донован А., Керниган Б. Язык программирования Go. – М. Вильямс. 2016. – 432 с.

УДК 004.056

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЕТЕКЦИИ АУДИО СТЕГОПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Ахметгалиев А.Р., студент;
Аникин И.В., д.т.н., заведующий кафедрой систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-9478-4894

NEURAL NETWORK MODEL FOR DETECTING AUDIO STEGANOGRAPHIC TRANSFORMATIONS

Ahmetgaliev A.R., student;
Anikin I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department for Cybersecurity Systems, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-9478-4894

Аннотация

В статье проведен анализ методов стеганографии, применяемых к аудиофайлам, и стеганографического анализа. Рассмотрены возможности машинного обучения, в частности нейронных сетей, для детекции факта наличия стеганографического сокрытия информации в аудиофайлах. Предложена архитектура сверточной нейронной сети для стегоанализа аудиофайлов. В качестве базовой архитектуры была выбрана EfficientNet-B0. Для объективной оценки качества нейросетевой модели были использованы стандартные метрики бинарной классификации: Accuracy, Precision, Recall и F1-score. Результаты проведенных исследований демонстрируют эффективность применения глубоких нейронных сетей для обнаружения стеганографического преобразования аудиофайлов. По результатам сравнения эффективности трех стеганографических алгоритмов можно сделать вывод, что метод фазового кодирования является в некоторой степени более безопасным для встраивания конфиденциальной информации.

Ключевые слова: информационная безопасность, сверточные нейронные сети, стеганография, стегоанализ

Abstract

The article analyzes steganographic methods applied to audio files and steganographic analysis. The possibilities of machine learning, particularly neural networks, for detecting the presence of steganographic information hiding in audio files are considered. An architecture of a convolutional neural network for steganalysis of audio files is proposed. The EfficientNet-B0 architecture was chosen as the baseline model. Standard metrics of binary classification were used to objectively evaluate the quality of the neural network model: Accuracy, Precision, Recall, and F1-score. The results of the

conducted research demonstrate the effectiveness of deep neural networks to detect steganographic transformations in audio files. Based on a comparison of the efficiency of three steganographic algorithms, it can be concluded that the phase-coding method is somewhat more secure for embedding confidential information.

Keywords: information security, convolutional neural networks, steganography, steganalysis

1. Введение

По мере развития технологий возможности применения стеганографии существенно расширились. С массовым распространением оцифрованных изображений, аудио- и видеоматериалов эти форматы стали активно использоваться в качестве контейнеров для скрытия данных. Указанные объекты содержат значительный объем избыточной информации, что позволяет встраивать в них посторонние данные без заметного ухудшения качества восприятия. Сформированные таким образом стеганографические контейнеры могут свободно передаваться по открытым каналам связи, не вызывая подозрений ни у посторонних лиц, для которых информация не предназначена, ни у программных средств антивирусной защиты.

Если есть потребность сокрытия некоторой подозрительной информации, то значит есть необходимость раскрывать такую информацию. Для этого используется стеганографический анализ (стегоанализ), который исследует методы выявления сообщений, встроенных, например, в цифровые медиафайлы, в частности, в аудиофайлы.

В данной работе акцентируется внимание на использование нейронных сетей для детекции наличия стеганографического сокрытия информации в аудиофайлах.

Актуальность данной работы заключается в повышенном интересе к автоматизации различных процессов по обеспечению безопасности, в том числе стеганографического анализа аудиофайлов с целью детекции скрытой информации. Повышение уровня безопасности информации при ее стеганографической защите может быть необходимо для некоторого легального использования стеганографии, например, встраивания цифровых водяных знаков, которые являются основой системы защиты авторских прав (встраивание маркеров, однозначно идентифицирующих автора).

2. Основные сведения о стеганографии и стегоанализе

Стеганография базируется на двух принципах. Первый заключается в том, что файлы, содержащие оцифрованное изображение или звук, могут быть до некоторой степени видоизменены без потери функциональности. Второй принцип состоит в неспособности органов чувств человека различить незначительные изменения в качестве звука, что особенно легко использовать применительно к объекту, несущему избыточную информацию [1].

Аудиофайлы являются удобными контейнерами благодаря несовершенству человеческого слуха, ограниченного в способности различать микроизменения сигнала. Основные методы встраивания данных делятся на две группы [2]:

– методы временной области: метод наименьшего значащего бита (LSB) – прост в реализации, имеет высокую вместимость, но крайне неустойчив к сжатию и фильтрации. Эхо-метод (Echo hiding) – основан на добавлении к сигналу эха с малой задержкой и амплитудой [3]. Метод расширения спектра (DSSS) – распределяет сообщение по частотному спектру с помощью псевдослучайного кода, что обеспечивает высокую устойчивость, но обладает значительной вычислительной сложностью [4];

– методы частотной области: фазовое кодирование – вместо добавления шума данная техника кодирует биты сообщения в виде фазовых сдвигов в фазовом спектре сигнала [5]. Методы на основе дискретного косинусного преобразования (DCT) и быстрого преобразования Фурье (FFT), а также вейвлет-преобразования (DWT) [6].

Для дальнейшего анализа были выбраны по одному методу из разных областей воздействия: метод фазового кодирования и эхо кодирование. Сравнительный анализ методов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов стеганографии

Метод стеганографии	Незаметность изменений	Устойчивость к обработке сигнала	Вместимость скрытых данных	Вычислительная сложность	Основные недостатки
Фазовое кодирование	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Ограниченный объем внедряемых данных
Эхо-кодирование	Средняя–высокая	Высокая	Низкая–средняя	Средняя	При неправильной настройке возможно заметное ухудшение качества звука

Стегоанализ – это процесс обнаружения факта скрытой передачи информации внутри обычных файлов, в свою очередь, может быть направленным (алгоритм известен) или универсальным/«слепым» (алгоритм не известен). Универсальные методы, к которым относится машинное обучение, строятся на выделении информативных признаков и последующей бинарной классификации объекта на «чистый контейнер» и «стегоконтейнер». Схема работы стегоанализа представлена на рис. 1.

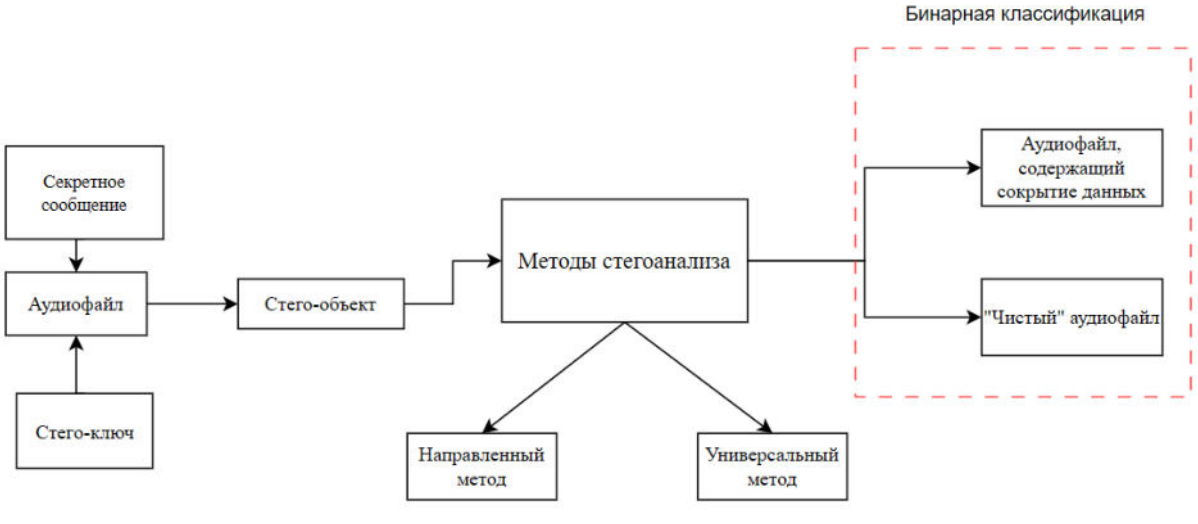


Рис. 1. Схема работы стегоанализа

3. Выбор и обоснование нейросетевой архитектуры

Для автоматизации детекции скрытых вложений было принято решение использовать обучение с учителем (задачу бинарной классификации). В отличие от многослойного перцептрона, полносвязные слои которого приводят к потере пространственных взаимосвязей признаков и резкому росту числа параметров, сверточные нейронные сети идеально подходят для анализа визуализированных аудиоданных – спектрограмм. Сверточные нейронные сети используют механизм локальных связей и разделяемых весов, автоматически извлекая признаки разного уровня детализации.

В ходе исследования были проанализированы популярные архитектуры: AlexNet, VGGNet, GoogLeNet, ResNet и EfficientNet. Модели семейства EfficientNet (2019) используют

метод составного масштабирования (Compound Scaling), сбалансированно изменяя глубину, ширину и разрешение сети. График зависимости, представленный на рис. 2 точности от количества параметров показывает, что базовая версия EfficientNet-B0 обеспечивает высокую точность (77,1% на ImageNet), превосходя тяжеловесные аналоги (например, ResNet-50), требуя при этом минимального объема памяти и вычислительных ресурсов. На этом основании для стегоанализа была выбрана именно она.

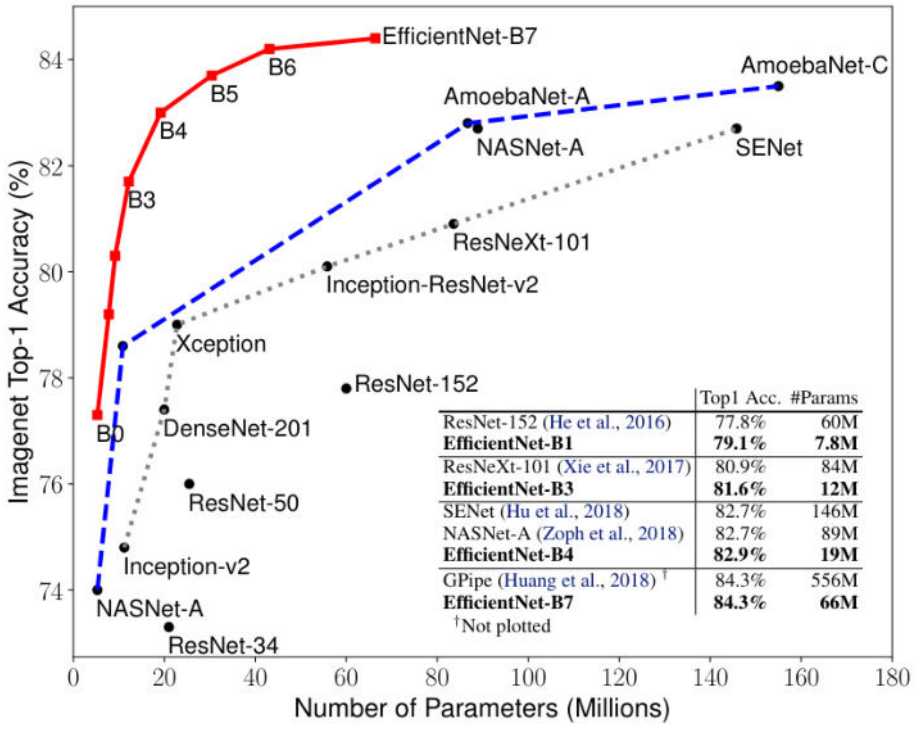


Рис. 2. Зависимость значения точности от количества параметров

4. Формирование данных

На рис. 3 представлены основные этапы формирования и последующей обработки исходных данных.

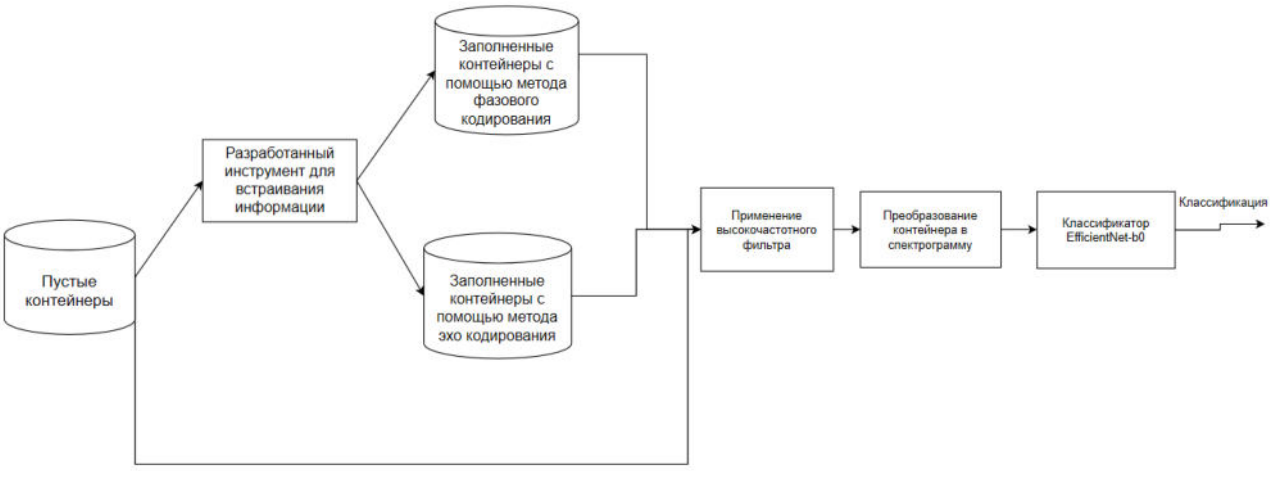


Рис. 3. Этапы формирования и обработки исходных данных

В рамках данного исследования исходные данные состоят из 3000 музыкальных аудиофайлов формата WAV, каждый из которых имеет фиксированную продолжительность 5 се-

кунд. С помощью разработанного консольного инструмента в файлы внедрены стеганографические вложения, что позволило сформировать три категории для последующего анализа:

– чистые аудиофайлы, не содержащие скрытой информации;

– аудиофайлы со вложением, выполненным методом фазового кодирования;

– аудиофайлы со вложением на основе эхо-кодирования.

Объем информации, внедренной в каждый аудиофайл, выбран максимальным для конкретного стегоконтейнера. Это означает, что при формировании обучающих данных использовался весь доступный объем скрытого пространства аудиосигнала. Такой подход позволяет усилить влияние стеганографического внедрения на структуру сигнала и сделать различия между исходным и модифицированным файлом более выраженными на этапе обучения модели.

5. Проведение разведочного анализа

Прежде чем нейросеть приступит к анализу и сравнению перечисленных методов, данные необходимо привести к подходящему виду. В сыром аудиоформате извлекать закономерности сложно, поэтому следует преобразовать аудиофайлы в спектрограммы. Этот формат позволяет представить аудиосигнал в виде двумерного распределения частотных характеристик во времени, благодаря чему локальные изменения, возникающие при стеганографическом внедрении, могут быть интерпретированы как визуальные артефакты и эффективно анализироваться методами компьютерного зрения. Во время разведочного анализа установлено, что применение высокочастотной фильтрации позволяет повысить выраженность артефактов стеганографического внедрения. На рис. 4 показаны различия между пустым стегоконтейнером и заполненным стегоконтейнером.

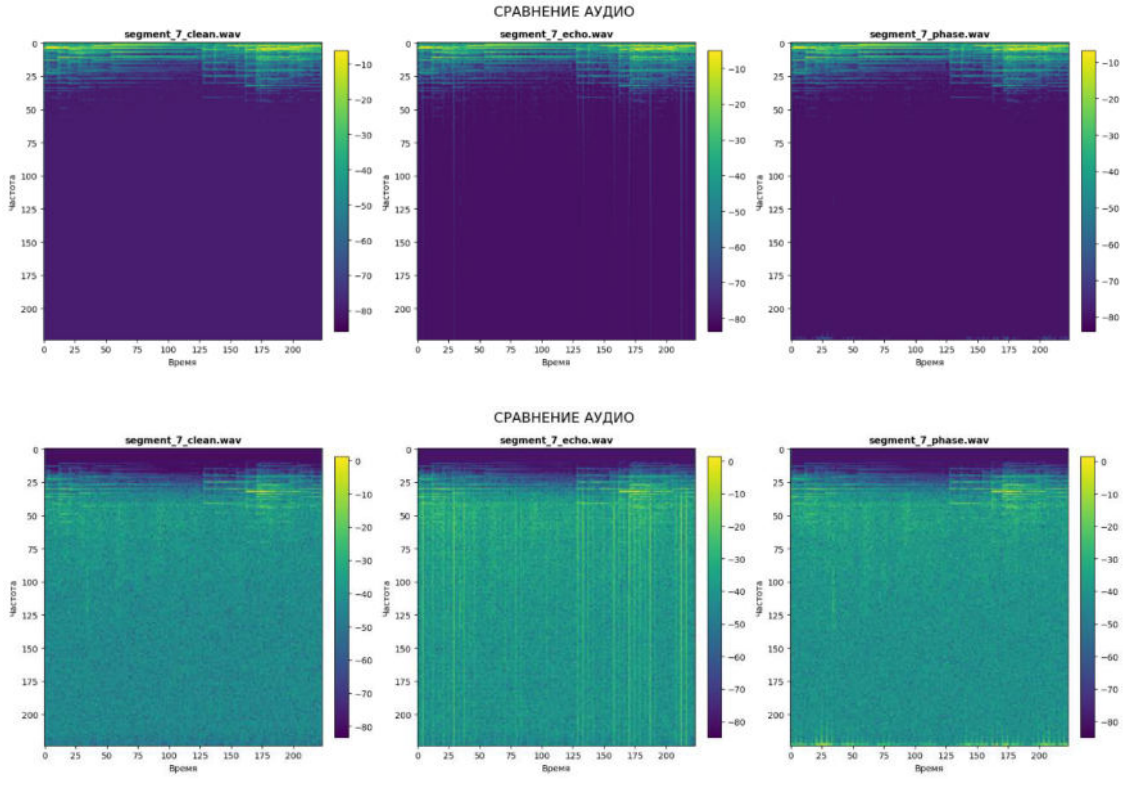


Рис. 4. Сравнение спектрограмм исходного и модифицированных сигналов после высокочастотной фильтрации

Дополнительную информацию о характере изменений позволяют получить фазовые спектрограммы. Их анализ показывает, что различия между чистыми аудиофайлами и модифицированными контейнерами проявляются в изменении распределения фазовых компонен-

тов сигнала. На рис. 5 показаны различия между пустым стегоконтейнером и заполненными стегоконтейнерами.

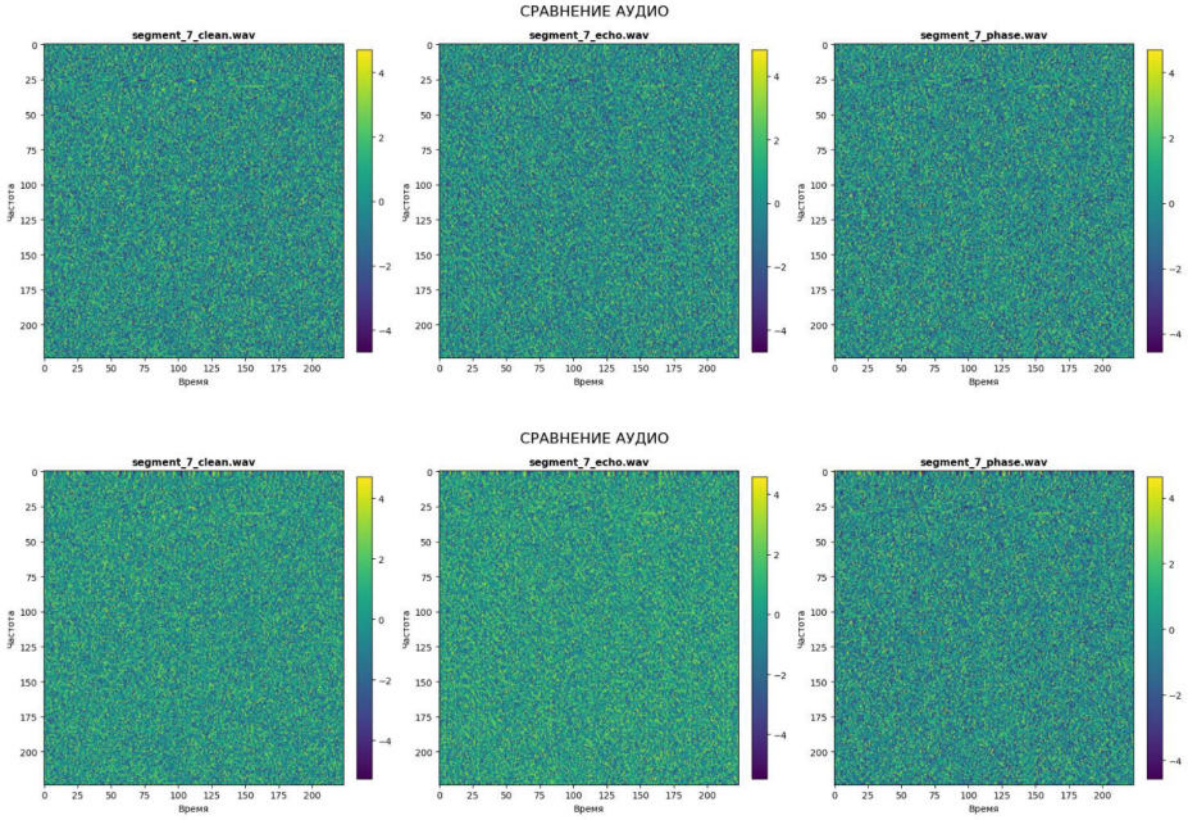


Рис. 5. Сравнение фазовых спектрограмм исходного и модифицированных сигналов после высокочастотной фильтрации

Различия между чистым аудиофайлом и файлами с эхо-кодированием, а также с фазовым кодированием проявляются в изменении насыщенности фазового изображения: чистый сигнал выглядит более равномерно, тогда как модифицированные файлы демонстрируют затемнения или, наоборот, осветления, указывающие на внесенные искажения.

6. Архитектура нейронной сети

В качестве базовой архитектуры была выбрана EfficientNet-B0 – модель, известная своей высокой точностью при наименьшем количестве параметров [3]. Архитектура сети, представленная на рис. 6, состоит из двух частей: Backbone (экстрактор признаков, предобученный на ImageNet) и Classification Head (классифицирующая голова, адаптер под нашу задачу бинарной классификации).

Для эффективного обучения нейронной сети используется двухэтапная стратегия переноса обучения (transfer learning) с прогрессивной разморозкой слоев и дифференцированными скоростями обучения. Такой подход позволяет эффективно использовать обобщающую способность предобученной сети ImageNet, а также адаптировать ее под задачу анализа спектрограмм.

7. Тестирование модели

Для объективной оценки качества нейросетевой модели были использованы стандартные метрики бинарной классификации: Accuracy, Precision, Recall и F1-score. Применение нескольких показателей позволило оценить как общую точность работы модели, так и ее способность корректно обнаруживать стеганографические вложения различных типов без перекоса в сторону ложных срабатываний. В табл. 2 представлены результаты тестирования нейросетевой модели.

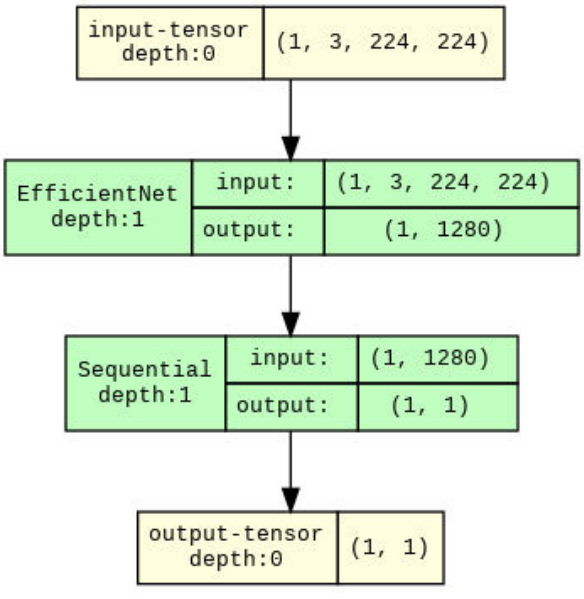


Рис. 6. Архитектура нейронной сети

Таблица 2

Результаты классификации для различных методов стеганографии

№	Алгоритм	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
1	Фазовое кодирование	0,98	0,98	0,98	98,3%
2	Эхо кодирования	0,98	0,99	0,98	98,5%

Результаты выполненных исследований демонстрируют эффективность применения глубоких нейронных сетей для обнаружения стеганографического преобразования аудиофайлов. Из результата сравнения эффективности трех стеганографических алгоритмов можно сделать вывод, что метод фазового кодирования является в некоторой степени более безопасным для встраивания секретной информации.

8. Выводы

Разработанная методика предварительной обработки данных, включающая высокочастотную фильтрацию, доказала свою эффективность: она позволила более четко локализовать визуальные артефакты в частотной области, вносимые алгоритмами фазового и эхо-кодирования. Предложенная нейросетевая модель продемонстрировала высокую обобщающую способность. Метрики эффективности бинарной классификации для обоих методов стеганографии составили: Accuracy – 98,3–98,5%, F1-score – 0,98.

Список литературы

1. Грибунин, В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 273 с.

2. Грачев, Я. Л. Стегоанализ методов скрытия информации в графических контейнерах / Я. Л. Грачев, В. Г. Сидоренко // Надежность. – 2021. – № 3 (21). – С. 39-46.

3. Chaumont M. Digital Media Steganography. Academic Press, 2020. – P. 321–349.

4. Ахмед, Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К. Р. Рао. – Москва : Связь, 1980. – 248 с.

5. Dong X., Bocko M. F., Ignjatovic Z. Data hiding via phase manipulation of audio signals //2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – IEEE, 2004. – Т. 5. – С. V-377.

6. Gupta S., Dhanda N. Audio steganography using discrete wavelet transformation (DWT) & discrete cosine transformation (DCT) / /IOSR Journal of Computer Engineering. – 2015. – Т. 17. – №. 2. – С. 32-44.

УДК 004.056.53:004.89:621.397.4

КОНТРАКТНО-СИНТЕЗИРУЕМАЯ ПЛОСКОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМ ВИДЕОМОНИТОРИНГОМ В УСЛОВИЯХ АТАК АГЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Белкин Е.Н., начальник отдела научно-технического развития АО «АЛГОНТ», г. Калуга, Россия;
ORCID: 0009-0007-5848-5433;
E-mail: belkinen@algont.ru

A CONTRACT-SYNTHESIZED CONTROL PLANE FOR REGIONAL VIDEO MONITORING UNDER AI-AGENT-ENABLED ATTACKS

Belkin E.N., Head of Research and Development Department, ALGONT JSC, Kaluga, Russia;
ORCID: 0009-0007-5848-5433;
E-mail: belkinen@algont.ru

Аннотация

Региональные системы видеомониторинга объединяют десятки тысяч камер, периферийные шлюзы, архивы, аналитические сервисы и межведомственные интеграции, поэтому компрометация одной административной учетной записи способна одновременно нарушить доступность наблюдения, целостность доказательственных видеоданных и конфиденциальность сведений о гражданах. Цель исследования состоит в разработке метода, ограничивающего последствия атак после получения злоумышленником легитимных привилегий либо управления инструментальным контуром автономного агента искусственного интеллекта. На основе подтвержденных инцидентов с видеонаблюдением полиции Вашингтона, платформой Verkada, уязвимыми устройствами Hikvision и кибершпионской кампанией, оркестрированной ИИ-агентом, сформирована модель угроз, в которой атакующий действует через штатные интерфейсы с машинной скоростью и адаптирует команды по результатам их выполнения. Предложена контрактно-синтезируемая плоскость управления: из подписанного наряда-задания, графа активов и политики безопасности создается временный шлюз, открывающий только необходимые операции над заданными объектами, проверяющий параметры и порядок команд, ограничивающий совокупный масштаб последствий, выполняющий опасные изменения по схеме «теневой тест – пробный сегмент – расширение» и отзывающий полномочия при обращении к семантическим маркерам разведки. Для проверки гипотезы выполнен воспроизводимый вычислительный эксперимент на модели из 20 722 активов; с фиксированным начальным значением генератора сформированы 100 000 атакующих и 100 000 легитимных трасс, а метод сопоставлен со статической ролью администратора и временным объектно-операционным токеном без проверки последовательности и семантики. В консервативном сценарии без семантических маркеров средняя достижимая поверхность управления сократилась с 244 232 до 30,7 пары «объект – операция», ни одна полная атакующая трасса не была допущена при верхней границе 95%-го доверительного интервала 0,00384%, доля разрешенных команд высокого воздействия составила 0,158%, а полностью приняты были 98,106% легитимных процессов при специально внесенном двухпроцентном дрейфе процедур. Научная

новизна заключается в синтезе отдельной минимальной плоскости управления для каждого операционного намерения и совместном применении автомата команд, предикатов параметров, ограничения совокупного эффекта и уникальных семантических маркеров, что переносит защиту с доверия к субъекту на процесс с машинно-проверяемыми ограничениями.

Ключевые слова: региональный видеомониторинг, агент искусственного интеллекта, плоскость управления, модель угроз, временный шлюз, объектно-операционный токен, семантические маркеры, совокупный эффект

Abstract

It is known, that regional video monitoring combines tens of thousands of cameras, edge gateways, archives, analytical services, and interagency integrations; compromise of one administrative identity can undermine monitoring availability, evidentiary video integrity, and citizens' data confidentiality. This study develops a method for limiting attack consequences after an adversary obtains legitimate privileges or controls the tool environment of an autonomous artificial intelligence agent. A threat model was derived from confirmed cases involving Washington, D.C. police surveillance, Verkada, vulnerable Hikvision devices, and an AI-orchestrated cyber-espionage campaign; the adversary uses standard interfaces at machine speed and adapts commands to results. The proposed contract-synthesized control plane generates a temporary gateway from a signed work order, an asset graph, and security policy; it exposes only required operations over bounded objects, verifies parameters and command order, limits cumulative impact, applies high-risk changes through the shadow test–canary segment–expansion sequence, and revokes authority when task-unique reconnaissance markers are touched. A reproducible experiment represented 20,722 assets: a fixed random seed produced 100,000 attack traces and 100,000 legitimate traces, and the method was compared with a static administrator role and an ephemeral object-operation token without sequence or semantic verification. In the conservative scenario without semantic markers, the mean reachable control surface decreased from 244,232 to 30.7 object-operation pairs; no complete attack trajectory was admitted, the upper 95% confidence bound was 0.00384%, 0.158% of high-impact commands were allowed, and 98.106% of legitimate workflows were accepted despite an injected two-percent workflow drift. The scientific contribution is per-intent synthesis of a minimal control plane combining a command automaton, parameter predicates, cumulative-effect bounds, and task-unique semantic markers, shifting protection from trust in an authenticated subject to an execution process with machine-verifiable bounds.

Keywords: regional video monitoring, artificial intelligence agent, control plane, threat model, temporary gateway, object-operation token, semantic markers, cumulative impact

1. Введение

Региональная система видеомониторинга является распределенной киберфизической платформой: камеры связаны с периферийными вычислителями, сетями, архивами, центрами обработки данных, видеоаналитикой и межведомственными интерфейсами. Алгоритмы искусственного интеллекта в составе видеоаналитики сами становятся объектами кибератак [1]. Для регионального управления связанность повышает полезность данных, но расширяет риск: нарушение доверенного сервиса может затронуть публичную безопасность, персональные данные и непрерывность управления.

Архитектура нулевого доверия исключает неявное доверие по сетевому расположению и проверяет субъект, устройство и ресурс [2]. Для ИИ-агентов уже предложено динамическое формирование минимальных временных разрешений, связанных с конкретной задачей [3], а ориентированные на большие языковые модели маркеры-приманки применяются для выявления автоматизированной разведки [4]. Однако эти подходы по отдельности не связывают допустимые операции с формальным порядком, параметрами, накопленным эффектом и независимыми подтверждениями в плоскости управления региональной инфраструктурой.

Инструментальные агенты искусственного интеллекта усиливают этот разрыв. Экспериментально показана способность агента на базе большой языковой модели эксплуатировать известные уязвимости при наличии их описаний [5], а опубликованные разборы реальных злоупотреблений демонстрируют автономное связывание разведки, эксплуатации, похищения учетных данных и эксфильтрации [6, 7]. При машинном темпе компрометация привилегированной сессии становится прежде всего проблемой масштаба последствий.

Цель работы – разработать и проверить архитектурный метод, который сохраняет ограниченность процесса даже при компрометации легитимной административной идентичности или контекста защитного ИИ-агента. Гипотеза исследования состоит в том, что синтез временного интерфейса из формального наряда-задания уменьшит достижимость полной вредоносной траектории по сравнению со статической ролью и объектно-операционным токеном, сохранив не менее 98% штатных процессов при двухпроцентном дрейфе процедур.

2. Материалы и методы исследования

Исследование включало три этапа: анализ документированных инцидентов и научных работ; формализацию контрактно-синтезируемой плоскости управления (КСПУ); вычислительный эксперимент методом Монте-Карло. Рассматривались случаи, в которых проявлялся хотя бы один из системных факторов: удаленное выполнение команд на периферийном устройстве, компрометация общего привилегированного сервиса, массовое воздействие на видеонаблюдение или агентная автоматизация цепочки атаки. Обобщение приведено в табл. 1.

Таблица 1

Инциденты и выводы для модели угроз

Случай	Подтвержденное проявление	Архитектурный вывод
2017, видеонаблюдение полиции Вашингтона	Несанкционированный доступ приблизительно к 123 компьютерам, связанным с камерами; размещение программ-вымогателей Cerber и Dharma и использование узлов в схеме распространения [8]	Узел видеонаблюдения может стать одновременно объектом нарушения доступности и инфраструктурой дальнейшей атаки
2021, платформа Verkada	Доступ через неверно настроенный сервер поддержки к административным учетным данным и интерфейсу, эмулировавшему пользовательские сессии; просмотр данных камер 97 клиентов [9]	Общая сервисная плоскость превращает одну привилегию в межорганизационный масштаб воздействия
2021, CVE-2021-36260 в устройствах Hikvision	Неаутентифицированное внедрение команд в веб-сервер ряда устройств; оценка Common Vulnerability Scoring System (CVSS) 3.1 – 9,8, уязвимость включена в каталог Агентства по кибербезопасности и защите инфраструктуры США [10]	Периферийное устройство должно рассматриваться как исполняющий узел, а не как пассивный датчик
2024-2026, атаки с ИИ-агентами	Агент GPT-4 эксплуатировал 87% из 15 уязвимостей при наличии описания [5]; в кампании 2025 г. злоумышленники манипулировали Claude Code, а ИИ выполнял 80–90% операций [6]; анализ 832 заблокированных учетных записей охватил все 14 тактик матрицы MITRE ATT&CK (Adversarial Tactics, Techniques, and Common Knowledge) [7]	Защита должна выдерживать адаптивное выполнение и машинный темп запросов

Модель угроз начинается после нарушения первичной линии защиты. Атакующий уже контролирует действующую привилегированную учетную запись либо инструкции и инструментальный контур авторизованного ИИ-агента; он способен вызывать штатные интерфейсы, параллельно анализировать ответы и изменять план. Цели включают массовое отключение камер, удаление архива, выгрузку видеоданных, замену корневого сертификата, отключение аудита, установку неподписанных обновлений, получение оболочки и повышение привилегий. Предполагается, что независимый компилятор политики, корень аттестации и удаленный якорь журнала не скомпрометированы одновременно; нарушение этого допущения относится к остаточному риску.

2.1. Контрактно-синтезируемая плоскость управления

Пусть региональная система задана графом активов $G = (V, E)$, а подписанный наряд-задание T описывает цель, основание, исполнителя, набор объектов и ожидаемый процесс. Независимый компилятор K получает T, политику безопасности $П$, актуальный граф G и подтверждения F: аттестацию программной среды, состояние инфраструктуры открытых ключей, телеметрию и согласование из системы управления работами. Результатом является контракт C_T и временный шлюз I_T, существующий только в течение задания.

Контракт определяется кортежем

$$C_T = (S_T, D_T, A_T, P_T, L_T, \tau_T, \beta_T, F_T, H_T). \quad (1)$$

где S_T – допустимый субъект и аттестованный инструментальный контекст; D_T – точный набор объектов; A_T – операции; P_T – предикаты параметров; L_T – язык допустимых последовательностей команд, реализованный конечным автоматом; τ_T – срок действия; β_T – верхняя граница совокупного эффекта; F_T – независимые подтверждения; H_T – уникальные для задания семантические маркеры разведки. Пусть $r = (s, d, a, p, t)$ – запрос, q_T – текущее состояние автомата, B_T – накопленный подтвержденный эффект уже выполненных команд. Запрос допускается только при одновременном выполнении условий

$$\begin{aligned}\mathrm{Allow}_T(r) = 1 \Leftrightarrow s \in S_T \wedge d \in D_T \wedge a \in A_T \wedge P_T(d, a, p) \wedge \delta_T(q_T, r) \neq \perp \\ \wedge B_T + \mathrm{cost}(r) \leq \beta_T \wedge t \leq \tau_T \wedge \mathrm{fresh}(F_T) \wedge \mathrm{hit}(r, H_T) = 0.\end{aligned} \quad (2)$$

В отличие от постоянного интерфейса запрещенные операции отсутствуют в схеме I_T. Агенту передается минимальная схема, но не ключи поставщика или общая административная роль. Для операций высокого риска контракт предписывает последовательность «теневой тест – пробный сегмент – расширение»; переход выполняется лишь при сохранении инвариантов доступности, целостности конфигурации и качества телеметрии. Семантический маркер представляет собой уникальное фиктивное имя объекта или операции, размещаемое в неавторитетном, доступном агенту контексте и отсутствующее в подписанной схеме. Обращение к нему указывает на разведку, подмену контекста или выполнение внедренной инструкции и немедленно отзывает контракт. Все решения связываются в хеш-цепочку и периодически закрепляются в независимой зоне.

Архитектура метода показана на рис. 1.

3. Результаты модельного эксперимента

Для проверки гипотезы реализована воспроизводимая модель на Python 3.11 без внешних библиотек. Граф включал 20 000 камер, 200 шлюзов, 20 архивов, два центра обработки данных и 500 учетных записей, всего 20 722 актива. Для каждого типа задан набор административных операций; поверхность статической роли составила 244 232 пары «объект – операция». Генерировались контракты 12 классов штатных работ: от диагностики и экспорта инцидента до обновления, ротации сертификатов, аварийной изоляции и аудита. Десять классов атак охватывали массовое отключение, эксфильтрацию, уничтожение хранения, вредоносные обновления, подмену доверия, ослепление аудита, повышение привилегий, получение оболочки и малозаметное нарушение.

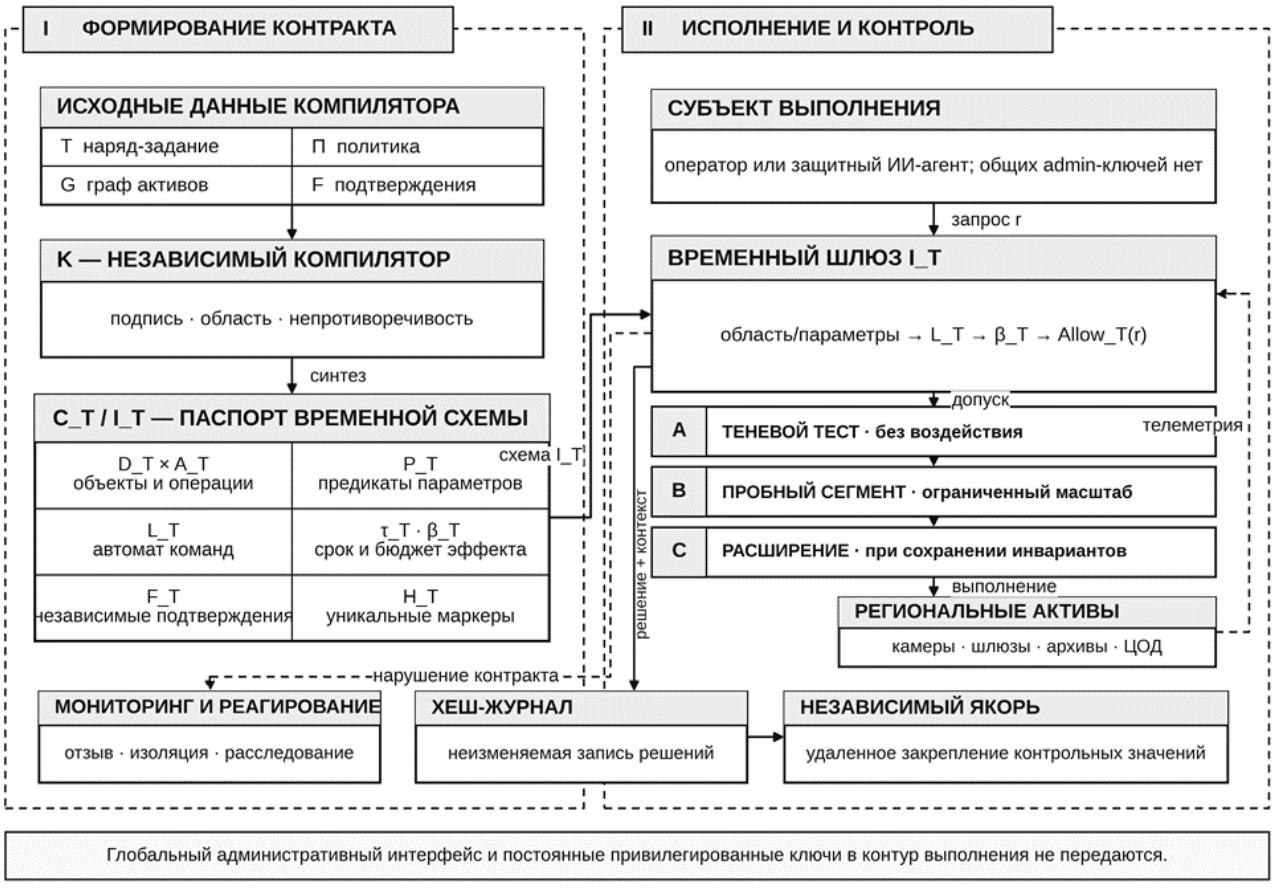


Рис. 1. Архитектура контрактно-синтезируемой плоскости управления

Сопоставлялись три режима: статическая роль администратора; временный объектно-операционный токен, проверяющий только область объектов и операций; КСПУ с предикатами параметров, автоматом команд и пределом совокупного эффекта. Из исходного значения 20260810 получены независимые потоки для поверхности, атак, штатных трасс и маркеров; сформировано по 100 000 атакующих и легитимных трасс. В 2% штатных трасс намеренно добавлялся дрейф: обращение к соседнему объекту либо повтор уже завершенной операции. Основной, консервативный сценарий не содержал семантических маркеров; в анализе чувствительности маркер добавлялся с вероятностью 0,5. Для долей рассчитаны 95%-е интервалы Уилсона, а различие полной успешности на парных атакующих трассах проверено точным критерием Мак-Немара. Результаты основного сценария приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты основного сценария без семантических маркеров

Режим	Средняя достижимая поверхность, пар	Полностью допущенные атакующие трассы, %	Допущенные команды высокого воздействия, %	Полностью принятые штатные процессы, %
Статическая роль администратора	244 232	100,000	100,000	100,000
Объектно-операционный токен	30,7	0,274	2,265	98,497
КСПУ	30,7	0,000	0,158	98,106

Средняя контрактная поверхность равна 30,7 пары, медиана – 6, 95-й процентиль – 183. Снижение относительно статической роли на 99,9874% одинаково для токена и КСПУ и отражает общее объектное ограничение. Дополнительный эффект КСПУ проявился в завершимости трасс и доле опасных команд: в основном сценарии не допущена ни одна полная атакующая траектория. Верхняя граница 95%-го интервала Уилсона при нулевом числе событий составила 0,00384%; это ограничивает наблюдаемую вероятность в модели, но не доказывает абсолютную невозможность атаки.

Объектно-операционный токен полностью пропустил 274 атакующие трассы, КСПУ – ни одной; обратных пар не наблюдалось, точное p-значение критерия Мак-Немара составило $6{,}59 \times 10^{-83}$. При этом 0,158% отдельных команд высокого воздействия совпали с разрешенной операцией и были допущены до последующего блокирования; хотя бы одна команда высокого воздействия прошла в 0,603% трасс при 95%-м интервале 0,557–0,653%. Это различие подтверждает необходимость оценивать не только отдельный вызов, но и завершимость вредоносной последовательности.

Полностью приняты 98,106% легитимных процессов, а доля разрешенных штатных команд составила 99,162%. Из 1894 отклоненных процессов 1503 были связаны с намеренно внесенным выходом за объектную область, 380 – с повтором завершенной операции, 11 – с превышением предела совокупного эффекта. В сценарии с семантическими маркерами полная успешность атак также осталась нулевой, доля трасс хотя бы с одной командой высокого воздействия снизилась до 0,492%, а доля допущенных команд высокого воздействия – до 0,129%. Следовательно, основной результат формируется структурными ограничениями контракта, а маркеры дают дополнительный сигнал раннего отзыва.

4. Обсуждение и практическое применение

КСПУ дополняет, а не заменяет архитектуру нулевого доверия. Идентичности пользователя и сервиса, аттестация устройства, микросегментация и телеметрия формируют входные данные компилятора, однако решение переносится с отдельного запроса на процесс с машинно-проверяемыми ограничениями. В результате компрометированная идентичность не получает возможность перечислить весь административный интерфейс, а захваченный ИИ-агент не получает через I_T способа расширить область полномочий изменением собственного плана или инструкций.

КСПУ развивает, но не дублирует два близких направления. В AgentSentry минимальные временные разрешения связываются с задачей [3], однако опубликованная проверка проведена для мобильного агента, а политика ограничивается объектом, операцией и контекстом. В подходе Cloak, Honey, Trap (CHeaT) применяются ориентированные на большие языковые модели маркеры-приманки [4]; в КСПУ компонент H_T лишь инициирует отзыв и не заменяет структурные ограничения. Новизна КСПУ состоит в совместном применении синтеза машинно-читаемого интерфейса, автомата команд, предикатов параметров, предела накопленного эффекта, независимых подтверждений и пробного выполнения. Поэтому метод ограничивает не только отдельное действие, но и завершимость инфраструктурной транзакции. Такое сочетание в системах оптико-электронного наблюдения и решениях для регионального видеомониторинга в изученных источниках не обнаружено.

Практическое внедрение возможно поверх существующей системы управления без замены камер. Сначала формируются граф активов и каталог опасных операций, затем вводятся машинно-проверяемый наряд-задание и независимый компилятор. Шлюз получает кратковивущий сертификат, преобразует минимальные команды в интерфейсы производителей и удаляет общие ключи после работы. Для критических контрактов нужны разделение полномочий, теневой цифровой двойник, пробные сегменты, автоматический откат и удаленное закрепление журнала. Эксплуатационные показатели: достижимая поверхность, отклонения штатных процессов, время синтеза, подтвержденный масштаб эффекта и время от нарушения до отзыва.

Ограничения исследования связаны с архитектурным характером эксперимента. Трассы синтетические и не оценивают задержку шлюза, особенности протоколов производителей, ошибки инвентаризации и совместную компрометацию независимых корней доверия. Семантический маркер может быть распознан подготовленным противником и не является самостоятельной мерой защиты. Следующим этапом должна стать стендовая апробация на журнале реальных административных работ с измерением производительности, экспертной разметкой атак и формальной верификацией автоматов контрактов.

5. Заключение

Анализ реальных инцидентов показал, что для регионального видеомониторинга критична не только уязвимость камеры, но и концентрация полномочий в общей плоскости управления. Атаки с применением ИИ-агентов повышают скорость перебора и способность связывать штатные операции в адаптивную цепочку, поэтому одной успешной аутентификации и даже временного объектного токена недостаточно.

КСПУ синтезирует минимальный интерфейс из подписанного намерения, графа активов, политики и независимых подтверждений; контролирует объекты, операции, параметры, последовательность, срок и совокупный эффект. Общее для токена и КСПУ ограничение области сократило среднюю достижимую поверхность с 244 232 до 30,7 пары, поэтому этот результат не относится к собственному вкладу КСПУ.

По сравнению с объектно-операционным токеном КСПУ снизила долю допущенных команд высокого воздействия с 2,265 до 0,158% (на 93,0%) и число полностью прошедших атакующих трасс с 274 до нуля. Доля принятых штатных процессов при этом снизилась на 0,391 процентного пункта – с 98,497 до 98,106%. Тем самым гипотеза подтверждена в пределах заданной модели; для оценки эксплуатационной эффективности необходим пилот на региональном стенде.

Список литературы

1. Мазин, А. В. Анализ кибератак на алгоритмы искусственного интеллекта в системах видеонаблюдения и методы противодействия / А. В. Мазин, Е. Н. Белкин // Известия Института инженерной физики. – 2026. – № 1 (79). – С. 7–10. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=88923315 (дата обращения: 11.08.2026).

2. Rose S., Borchert O., Mitchell S., Connelly S. Zero Trust Architecture. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2020. 59 p. (NIST Special Publication 800-207). DOI: 10.6028/NIST.SP.800-207.

3. Cai Y., Wang Z., Deng Z. et al. Who Grants the Agent Power? Defending Against Instruction Injection via Task-Centric Access Control // Proceedings of the 2025 Workshop on Security and Privacy of AI-Empowered Mobile Super Apps (SaTS '25), October 13–17, 2025, Taipei. New York : ACM, 2025. 3 p. DOI: 10.1145/3733824.3764872.

4. Ayzenshteyn D., Weiss R., Mirsky Y. Cloak, Honey, Trap: Proactive Defenses Against LLM Agents // 34th USENIX Security Symposium (USENIX Security 25) : Proceedings. Seattle : USENIX Association, 2025. P. 8095–8114.

5. Fang R., Bindu R., Gupta A., Kang D. LLM Agents can Autonomously Exploit One-day Vulnerabilities [Электронный ресурс]. 2024. arXiv:2404.08144. DOI: 10.48550/arXiv.2404.08144.

6. Disrupting the First Reported AI-Orchestrated Cyber Espionage Campaign [Электронный ресурс] // Anthropic. 13.11.2025. – URL: https://www.anthropic.com/news/disrupting-AI-espionage (дата обращения: 11.08.2026).

7. Guru K., Moix A., Klein J. Mapping AI-Enabled Cyber Threats: Insights from the LLM ATT&CK Navigator [Электронный ресурс] // Anthropic. 03.06.2026. – URL: https://www.anthropic.com/research/attack-navigator (дата обращения: 11.08.2026).

8. Two Romanian Suspects Charged With Hacking of Metropolitan Police Department Surveillance Cameras in Connection with Ransomware Scheme [Электронный ресурс] // U.S.

Department of Justice. 28.12.2017. – URL: https://www.justice.gov/usao-dc/pr/two-romanian-suspects-charged-hacking-metropolitan-police-department-surveillance-cameras (дата обращения: 11.08.2026).

9. Summary: March 9, 2021 Security Incident Report [Электронный ресурс] // Verkada. 2021. – URL: https://www.verkada.com/security-update/report/ (дата обращения: 11.08.2026).

10. CVE-2021-36260 Detail [Электронный ресурс] // National Vulnerability Database. 22.09.2021. – URL: https://nvd.nist.gov/vuln/detail/CVE-2021-36260 (дата обращения: 11.08.2026).

004.056:004.7

OSINT В СОВРЕМЕННОЙ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ: МЕТОДОЛОГИЯ, ИСТОЧНИКИ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Бобро М.Д., главный специалист отдела информационной безопасности;
ORCID: 0009-0000-1271-6557;
E-mail: bobro@rostov-gorod.ru;
Егоренков В.В., начальник управления информационных технологий Администрации города Ростова-на-Дону, г. Ростов-на-Дону, Россия;
ORCID: 0009-0002-2018-9296;
E-mail: egorenkov@rostov-gorod.ru

OSINT IN MODERN CYBERSECURITY: METHODOLOGY, SOURCES, AND PRACTICAL APPLICATIONS FOR PROTECTING INFORMATION INFRASTRUCTURE

Bobro M.D., Chief Specialist of the Information Security Department;
ORCID: 0009-0000-1271-6557;
E-mail: bobro@rostov-gorod.ru;
Egorenkov V.V., Head of the Information Technology Directorate Rostov-on-Don City Administration, Rostov-on-Don, Russia;
ORCID: 0009-0002-2018-9296;
E-mail: egorenkov@rostov-gorod.ru

Аннотация

Технология Open Source Intelligence (OSINT) эволюционировала от вспомогательного инструмента специальных служб до самостоятельной ключевой дисциплины кибербезопасности. В условиях роста данных в Интернете данная статья рассматривает методологию OSINT, источники открытой информации и практику её применения для защиты информационной инфраструктуры организаций, включая анализ двойственного характера технологии, целей при выявлении уязвимостей и перспектив развития с использованием искусственного интеллекта.

Ключевые слова: OSINT (Open Source Intelligence, разведка по открытым источникам), кибербезопасность, открытая разведка, информационная инфраструктура, методология, источники, Cyber Threat Intelligence (кибербразведка)

Abstract

Open Source Intelligence (OSINT) technology has evolved from an auxiliary tool used by intelligence agencies into an independent core discipline of cybersecurity. In the context of the growing

volume of Internet data, this article examines the OSINT methodology, sources of open information, and practical applications for protecting organizational information infrastructure. It also includes an analysis of the dual nature of the technology, objectives in identifying vulnerabilities, and future development prospects through the integration of artificial intelligence.

Keywords: OSINT (Open Source Intelligence, Open-Source Intelligence), cybersecurity, open-source intelligence, information infrastructure, methodology, sources, Cyber Threat Intelligence

Введение

Современный этап развития информационного общества характеризуется экспоненциальным ростом объема данных, размещаемых в глобальной сети Интернет. Это явление, являясь следствием цифровизации экономики и социальных процессов, формирует новую реальность для сферы информационной безопасности. Информация, которую организации и частные лица добровольно или непреднамеренно публикуют в открытом доступе, создает обширное поле для разведывательной деятельности [1, 2]. Как следствие, классические модели защиты, ориентированные исключительно на отражение атак на периметре сети, оказываются недостаточно эффективными. Злоумышленники получают возможность легально, без нарушения законодательства и прямого взаимодействия с защитными контурами, собрать детальную информацию об объекте атаки, ее инфраструктуре, персонале и используемых технологиях [3].

Данная проблематика актуализирует необходимость исследования и применения технологии Open Source Intelligence (OSINT), которая из вспомогательного инструмента специальных служб превратилась в самостоятельное и критически важное направление кибербезопасности. В работах современных исследователей OSINT определяется не просто как совокупность методов поиска, но как комплексная разведывательная дисциплина, включающая сбор, верификацию, анализ и интерпретацию данных из общедоступных источников для последующего принятия решений [4].

Цель обзорной научной статьи – систематизировать, проанализировать и обобщить ранее опубликованные исследования в контексте кибербезопасности; выявить современное состояние методологии OSINT, её двойственный характер, а также определить перспективные направления развития, включая автоматизацию и применение искусственного интеллекта.

Истоки OSINT лежат в традиционной аналитической работе, которая велась разведывательными службами на протяжении десятилетий: изучение печатных изданий, радиопередач и открытых документов позволяло делать выводы о намерениях и возможностях противника [5]. Однако именно развитие интернета и появление социальных медиа произвели революцию в этой сфере. Если ранее основной проблемой был дефицит информации, то сегодня ключевым вызовом становится ее колоссальный объем, требующий применения автоматизированных средств сбора и анализа для выявления релевантных сведений [6].

Методология и объекты OSINT-исследования при оценке защищенности

Эффективное применение OSINT для целей защиты требует системного методологического подхода, который, включает последовательное выполнение нескольких этапов. Исходным пунктом выступает четкое определение объектов разведки: доменов, IP-адресов, ключевых лиц, а также границ проводимого исследования. Далее следует этап сбора данных, охватывающий использование широкого круга открытых источников. Собранная информация затем подвергается анализу и верификации – процессу критической оценки, отсеиванию «шума» и устаревших сведений, а также перекрестной проверке фактов из нескольких независимых источников или кросс-верификации [1]. Завершающим этапом выступает обработка результатов и структурирование выводов, где полученные данные представляются в удобной для анализа форме, например в виде графов связей, и уже на их основе вырабатываются практические рекомендации.

Объекты исследования при оценке уязвимости публичной ИТ-инфраструктуры охватывают несколько ключевых категорий. В первую очередь анализируется сетевая инфраструктура и технические детали: DNS-записи, WHOIS-данные, открытые порты и баннеры сервисов. Специализированные поисковые системы, такие как Shodan и Censys, позволяют получить срез всех устройств организации, доступных из интернета, включая те, о существовании которых системные администраторы могли забыть, дополнительным источником информации служат логи TLS-сертификатов (Certificate Transparency), способные раскрывать скрытые поддомены.

Не менее важной категорией выступает человеческий фактор и связанные с ним данные. Мониторинг социальных сетей, включая профессиональные сообщества и платформы типа LinkedIn, дает возможность установить структуру организации, должностные обязанности и контактные данные сотрудников, что критически важно для моделирования фишинговых атак. Проверка баз утечек (например, через сервисы Have I Been Pwned или DeHashed) позволяет выявить скомпрометированные корпоративные учетные записи [9]. Кроме того, поиск в публичных репозиториях кода, таких как GitHub, может обнаружить случайно опубликованные пароли, ключи API или фрагменты внутреннего программного обеспечения.

Отдельного внимания заслуживает анализ метаданных документов, опубликованных на веб-сайте организации или в иных открытых источниках, способных раскрыть имена авторов, пути к файлам на внутренних серверах, версии используемого программного обеспечения и иную служебную информацию, изначально не предназначенную для публичного распространения. Таким образом, комплексное исследование перечисленных объектов позволяет сформировать целостную картину внешнего цифрового следа организации и выявить потенциальные точки входа для злоумышленников.

Классификация источников открытой информации

Эффективность OSINT-исследований напрямую зависит от полноты охвата источников и понимания их специфики. В современной научной литературе предлагается классифицировать открытые источники по их природе и способам доступа. Традиционно к ним относят средства массовой информации, публичные отчеты государственных органов, научные публикации и «серую литературу» [1]. Однако в контексте кибербезопасности ключевое значение приобретают цифровые источники, которые, в свою очередь, могут быть разделены на несколько категорий.

Первую категорию составляют поисковые системы и веб-архивы. Продвинутое использование поисковых операторов (Google Dorks) позволяет находить информацию, не индексируемую при стандартном поиске: открытые каталоги с конфиденциальными документами, уязвимые веб-формы, файлы с расширениями, содержащими пароли, и иные артефакты, случайно оказавшиеся в публичном доступе [8, 3]. Сервисы вроде Wayback Machine дают доступ к историческим версиям веб-сайтов, что позволяет отследить изменения в структуре организации или обнаружить удаленную, но ранее опубликованную информацию.

Вторую категорию представляют специализированные сканирующие платформы. Shodan, Censys и ZoomEye индексируют не веб-страницы, а подключенные к интернету устройства: от веб-камер и принтеров до промышленных контроллеров и серверов баз данных [5, 7]. Как отмечается в исследованиях, эти инструменты позволяют получить «слепок» сетевого периметра организации, выявив все устройства, доступные извне, включая те, которые не афишируются владельцем. К этой же категории можно отнести сервисы Certificate Transparency (например, crt.sh), базы данных которых содержат информацию о всех выданных TLS-сертификатах, что позволяет обнаружить поддомены, не указанные в публичных DNS-записях.

Третья категория – источники, связанные с человеческим фактором. Социальные сети (LinkedIn, VK, Facebook), профессиональные форумы, мессенджеры (Telegram-каналы и чаты) содержат огромные массивы данных о сотрудниках организации, их должностных обязанностях, командировках, используемом оборудовании и программном обеспечении. Платформы

для совместной разработки, такие как GitHub, GitLab, могут содержать случайно опубликованные ключи API, пароли и фрагменты внутреннего кода.

Четвертая категория – базы утечек данных. Сервисы Have I Been Pwned, DeHashed, Intelligence X и аналогичные агрегируют информацию из публично раскрытых баз данных, позволяя проверить, были ли скомпрометированы корпоративные учетные записи. Это критически важно, поскольку злоумышленники активно используют такие базы для подбора паролей и подготовки целевых фишинговых атак [9].

Пятая категория – специализированные OSINT-фреймворки и инструменты визуализации. Комплексные платформы, такие как Maltego, SpiderFoot, Recon-ng, агрегируют данные из множества источников и позволяют строить графы связей между объектами исследования: доменами, IP-адресами, электронными адресами, профилями в социальных сетях [8]. Это дает возможность выявлять скрытые взаимосвязи, которые не очевидны при анализе разрозненных фактов [2].

Цели OSINT при анализе уязвимостей и угроз

Применение OSINT для анализа защищенности публичной ИТ-инфраструктуры направлено на достижение нескольких взаимосвязанных целей, которые соответствуют этапам разведывательного цикла злоумышленника и одновременно служат укреплению защитной позиции организации. Первоочередной задачей выступает инвентаризация внешнего периметра, то есть составление максимально полного перечня цифровых активов, доступных из сети Интернет. Как отмечает М.Н. Жукова, основная сложность при поиске точек компрометации заключается именно в обширности ИТ-инфраструктуры и невозможности одновременного сканирования всех направлений [3]. Применение OSINT-методов позволяет решить эту задачу, выявляя основные и забытые домены и поддомены, диапазоны IP-адресов, принадлежащие организации, открытые порты и функционирующие на них сетевые сервисы, а также используемые версии программного обеспечения и операционных систем [3].

Дальнейший анализ полученных данных направлен на обнаружение ошибок конфигурации и элементов «теневой» инфраструктуры. Речь идет о выявлении открытых административных интерфейсов, например, панелей управления базами данных или маршрутизаторов с внешним доступом, использовании устаревших версий протоколов, таких как SSL с известными уязвимостями, а также о наличии тестовых или неиспользуемых серверов, которые не обновляются и не контролируются должным образом [6].

Еще одной важной целью является поиск утечек конфиденциальной информации, то есть данных, которые организация или ее сотрудники непреднамеренно раскрыли в открытом доступе. К таким данным относятся учетные записи (логины и пароли), оказавшиеся в открытых репозиториях или базах утечек; внутренняя документация, случайно проиндексированная поисковыми системами [2]; API-ключи и токены доступа, позволяющие злоумышленнику взаимодействовать с внутренними сервисами; а также метаданные файлов, раскрывающие внутреннюю структуру сети, имена пользователей и версии программного обеспечения.

Наконец, мониторинг социальных сетей позволяет оценить уровень осведомленности сотрудников и соблюдение ими правил информационной безопасности. Анализируется, публикуют ли они фотографии с рабочих мест, на которых видны мониторы с конфиденциальной информацией, обсуждают ли рабочие процессы в открытых группах, указывают ли в профилях контактные данные, которые могут быть использованы для фишинговых атак.

Помимо анализа собственной инфраструктуры, OSINT активно применяется для мониторинга внешней среды с целью раннего выявления готовящихся атак и изучения тактик злоумышленников (Threat Intelligence).

Сбор индикаторов компрометации (IoC). В открытых источниках – специализированных форумах, Telegram-каналах, отчетах исследовательских центров – регулярно публикуются новые IP-адреса командных серверов, хэши вредоносных файлов, фишинговые домены. Мониторинг этих источников позволяет своевременно обновлять базы систем обнаружения

вторжений и блокировать угрозы на подступах. Платформы коллективного обмена данными об угрозах, такие как AlienVault OTX, агрегируют эту информацию, предоставляя доступ к «пульсам» – тематическим подборкам IoC, связанным с конкретными вредоносными кампаниями или группами [7].

Анализ тактик, техник и процедур (TTP) злоумышленников. Изучение отчетов об атаках APT-группировок, доступных в открытом доступе, позволяет понять логику действий нарушителей: какие уязвимости они предпочитают эксплуатировать, какие методы социальной инженерии используют, как закрепляются в скомпрометированных системах. Данные знания, систематизированные в базах знаний типа MITRE ATT&CK, позволяют специалистам по защите выдвигать обоснованные гипотезы для Threat Hunting и адаптировать средства защиты под актуальные угрозы.

Применение OSINT в обеспечении кибербезопасности и защите ИТ-инфраструктуры

Технология OSINT является действенным инструментом выявления уязвимостей собственной ИТ-инфраструктуры, позволяя обнаруживать потенциальные точки входа в информационную систему до того, как ими воспользуются злоумышленники [3]. Специализированные поисковые системы (Shodan, Censys, ZoomEye) индексируют устройства, подключённые к сети Интернет, и предоставляют сведения об открытых портах, версиях программного обеспечения и баннерах сервисов [7, 8]. Это даёт возможность администраторам обнаруживать забытые или неправильно сконфигурированные серверы, а также оценивать степень защищённости внешнего периметра.

Сбор индикаторов компрометации из открытых источников, таких как специализированные форумы, Telegram-каналы и базы данных утечек, позволяет своевременно пополнять базы систем обнаружения вторжений и блокировать угрозы на ранних стадиях. Анализ тактик и техник злоумышленников, публикуемых в открытых отчётах, даёт возможность специалистам по безопасности выдвигать обоснованные гипотезы при активном поиске угроз (Threat Hunting) [3]. Комплексное использование OSINT-инструментов (Maltego, SpiderFoot) позволяет автоматизировать сбор данных и строить графы связей между объектами, что существенно ускоряет процесс расследования инцидентов.

Актуальность и перспективы развития OSINT

Актуальность применения OSINT обусловлена несколькими факторами. Во-первых, экспоненциальный рост объёма данных, генерируемых в цифровом пространстве: по состоянию на 2024 год число пользователей Интернета достигло 5,5 млрд человек, что составляет 67% населения Земли. Ежедневно в сети оседают огромные массивы информации, включая персональные данные, сведения о компаниях, технические детали инфраструктуры [2, 5]. Во-вторых, увеличение доли преступлений, совершаемых с использованием информационно-телекоммуникационных технологий: только в России в январе-феврале 2024 года их число выросло на 23,5% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. В-третьих, доступность и экономическая эффективность OSINT по сравнению с традиционными методами сбора информации: открытые источники не требуют специальных разрешений и дорогостоящего оборудования [1, 5].

Перспективы развития OSINT связаны с автоматизацией сбора и анализа данных, применением технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки больших массивов, выявления скрытых закономерностей и прогнозирования угроз [10]. Важным направлением является создание специализированных образовательных программ для подготовки кадров, способных эффективно использовать инструменты открытой разведки в правоохранительной деятельности, бизнесе и сфере информационной безопасности [10].

Заключение

Проведённое исследование подтверждает, что технология OSINT в современных условиях трансформировалась из вспомогательного инструмента специальных служб в самостоятельную дисциплину, играющую ключевую роль в обеспечении информационной без-

опасности, борьбе с преступностью, бизнес-аналитике и журналистских расследованиях. Двойственная природа открытой разведки проявляется в том, что одни и те же методы и инструменты могут быть использованы как для защиты, так и для нападения, что требует осознанного подхода к управлению цифровым следом как на уровне организаций, так и на уровне отдельной личности.

В ходе анализа установлено, что эффективное применение OSINT базируется на системной методологии, включающей целеполагание, сбор данных из разнообразных источников (поисковые системы, специализированные сканеры, социальные сети, базы утечек, государственные реестры), их верификацию и последующую интерпретацию. Критически важным этапом остаётся кросс-верификация получаемых сведений, поскольку открытые источники могут содержать устаревшую, неполную или намеренно искажённую информацию. Ни один отдельно взятый инструмент не даёт исчерпывающей картины, поэтому необходим комплексный подход, сочетающий автоматизированные средства сбора и ручной анализ.

Практическая значимость OSINT раскрывается через широкий спектр прикладных задач. В сфере кибербезопасности технология позволяет выявлять уязвимости собственной инфраструктуры, обнаруживать забытые или неправильно сконфигурированные активы, а также своевременно получать индикаторы компрометации из открытых источников для блокирования атак на ранних стадиях. Интеграция OSINT в процессы Threat Intelligence и Threat Hunting обеспечивает переход от реактивной модели защиты к проактивной, основанной на анализе тактик и техник злоумышленников.

Перспективы дальнейшего развития связаны с автоматизацией процессов сбора и анализа, внедрением технологий искусственного интеллекта для обработки больших массивов и выявления скрытых закономерностей, а также с подготовкой квалифицированных кадров, способных эффективно использовать инструменты открытой разведки в различных сферах деятельности.

Таким образом, OSINT представляет собой мощный и многогранный инструмент современной информационной аналитики, применение которого требует системного подхода, сочетающего технические знания, критическое мышление и неукоснительное соблюдение правовых и этических норм. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на совершенствование методов верификации данных, разработку отечественного программного обеспечения и интеграцию открытой разведки в образовательные программы профильных специальностей, что позволит адекватно отвечать на вызовы цифровой эпохи.

Список литературы

1. Романова Н.Н., Грызунов В.В. Исследование проблемы обеспечения безопасности персональных данных при использовании злоумышленниками OSINT: систематический обзор литературы // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». – 2023. – С. 1-10.

2. Калиев А.А. Анализ открытых данных в эпоху цифровых технологий: возможности и перспективы OSINT // Вестник Академии правоохранительных органов. – 2025. – № 1. – С. 98-108.

3. Жукова М.Н. Алгоритм применения технологии OSINT для поиска начальных точек сканирования целевой информационной системы // Caspian Journal: Control and High Technologies. – 2024. – № 4 (68). – С. 10-17.

4. Bertram S. The Tao of Open Source Intelligence. London: IT Governance Publishing, 2015. 200 p.

5. Наумов А.И., Попов А.А., Тимченко О.В., Давыдов Д.С. Кибербезопасность и OSINT: принципы сбора информации из открытых источников и методы защиты // Актуальные проблемы науки и техники: материалы международной научно-практической конференции. – 2025. – С. 32-38.

6. Hwang Y.W., Lee I.Y., Kim H., et al. Current status and security trend of osint // Wireless Communications and Mobile Computing. 2022. Т. 2022. DOI: 10.1155/2022/1290129.

7. Керимкулова Г.К., Каримова Г.Т. Обзор и практическое значение технологий OSINT // КГТУ им. И.Раззакова. – 2024. – С. 105-112.

8. Гончаренко М.Д., Овчинникова Е.А. Анализ инструментов OSINT // СибГУТИ. – 2025. – С. 155-159.

9. Hubbard J., Bendiab G., Shiaeles S. IPASS: A Novel Open-Source Intelligence Password Scoring System // 2022 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR). IEEE, 2022. – P. 90-95. DOI: 10.1109/CSR54599.2022.9850322.

10. Рукавишникова Г.А., Титов П.М. Общая характеристика технологий OSINT на платформе Telegram для использования в получении значимой информации // Уральский юридический институт МВД России. – 2024. – С. 539-545.

УДК 343.1

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЗАЩИТЫ ТАЙНЫ СЛЕДСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ УГОЛОВНОГО СУДОПРОИЗВОДСТВА

Гаврилов М.А., к.ю.н., доцент кафедры общегуманитарных, социально-экономических дисциплин и физического воспитания, Казанский юридический институт (филиал) Университета прокуратуры Российской Федерации, г. Казань, Россия

SOME ISSUES OF INFORMATION SECURITY AND INVESTIGATIVE CONFIDENTIALITY IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF CRIMINAL PROCEDURE

Gavrilov M.A., Candidate of Law, Associate Professor, Department of General Humanities, Socioeconomic Disciplines, and Physical Education, Kazan Law Institute (branch) of the University of the Prosecutor's Office of the Russian Federation, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена актуальным вопросам обеспечения информационной безопасности и тайны следствия в контексте внедрения цифровых технологий в уголовное судопроизводство России. Особое внимание уделяется анализу процесса внедрения электронного документооборота, который призван повысить эффективность уголовного процесса. Подчеркивается, что в условиях цифровой трансформации возрастает потребность в надежных мерах по защите информации в сфере уголовного судопроизводства. В работе анализируются положения нормативно-правовых актов Российской Федерации, в том числе норм уголовно-процессуального законодательства, регулирующих применение информационных технологий и электронного документооборота в уголовном судопроизводстве. В статье выделяются основные угрозы информационной безопасности, характерные для систем электронного документооборота, а также определяет их релевантность для сферы уголовного судопроизводства. Исследуются пробелы в правовом регулировании использования электронного документооборота, в частности, отсутствие установленной процедуры подтверждения подлинности электронных подписей сотрудников органов предварительного расследования и прокурора, что является важным аспектом защиты прав обвиняемых, находящихся под стражей. Рассматриваются организационные меры защиты информации, включая применение систем искусственного интеллекта, и указывается на отсутствие гарантий соблюдения пользователями ограниче-

ний конфиденциальности при загрузке данных, несмотря на существующие ведомственные запреты на передачу служебной информации через Интернет. Подчеркивается важность физических средств защиты для предотвращения несанкционированного доступа и перехвата информации. Уделяется внимание техническим средствам защиты информации в контексте государственной защиты участников уголовного судопроизводства, в частности, обеспечению конфиденциальности сведений о защищаемых лицах. Отмечается сложность реализации этой меры в условиях цифровизации и неопределенность механизма применения нового законодательства о персональных данных. Рассматриваются криптографические средства защиты, подчеркивается значение квалифицированной электронной подписи и необходимость защиты закрытого ключа, а также аппаратные программные средства, регулирующие доступ к информации. В качестве мер по обеспечению информационной безопасности предлагается применение комплексного подхода, включающего правовые, организационные, физические, технические и криптографические средства защиты информации.

Ключевые слова: цифровизация уголовного судопроизводства, информационная безопасность, защита информации, электронный документооборот, информационные технологии, права участников уголовного судопроизводства

Abstract

This article examines current issues of information security and confidentiality in the context of the introduction of digital technologies into criminal proceedings in Russia. Particular attention is paid to the analysis of the implementation of electronic document management, which is designed to improve the efficiency of criminal proceedings. It is emphasized that digital transformation has increased the need for reliable information protection measures in criminal proceedings. The paper analyzes the provisions of Russian Federation laws and regulations, including criminal procedure legislation, governing the use of information technology and electronic document management in criminal proceedings. The article identifies the main information security threats inherent in electronic document management systems and determines their relevance to criminal proceedings. Gaps in the legal regulation of the use of electronic document management are examined, in particular, the lack of an established procedure for confirming the authenticity of electronic signatures of pretrial investigation officers and the prosecutor, which is an important aspect of protecting the rights of defendants in custody. This article examines organizational measures to protect information, including the use of artificial intelligence systems, and points out the lack of guarantees that users will comply with privacy restrictions when uploading data, despite existing departmental prohibitions on the transfer of official information via the internet. The importance of physical security measures to prevent unauthorized access and interception of information is emphasized. Attention is paid to technical means of protecting information in the context of state protection of participants in criminal proceedings, in particular, ensuring the confidentiality of information about protected individuals. The complexity of implementing this measure in the context of digitalization and the uncertainty of the mechanism for applying new legislation on personal data are noted. Cryptographic means of protection are considered, emphasizing the importance of qualified electronic signatures and the need to protect private keys, as well as hardware and software tools regulating access to information. A comprehensive approach is proposed for ensuring information security, including legal, organizational, physical, technical, and cryptographic means of protecting information.

Keywords: digitalization of criminal proceedings, information security, information protection, electronic document management, information technology, rights of participants in criminal proceedings

В сферу уголовного судопроизводства активно внедряется электронный документооборот, повышая уровень доступности участников процесса к имеющей для них значение информации, что является заметной тенденцией последних лет. Поэтапная трансформация

документооборота в сфере уголовного судопроизводства в электронный формат безусловно отвечает современным вызовам преступности и преследует цель обеспечения быстрого и полного расследования преступлений [1, с. 52-55]. Одновременно с этим возрастает актуальность вопроса об обеспечении информационной безопасности уголовного судопроизводства в условиях цифровизации.

На законодательном уровне проблеме информационной безопасности посвящен ряд нормативно-правовых актов. Среди них можно выделить Доктрину информационной безопасности Российской Федерации, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 05.12.2016 № 646, связывающую увеличение вероятности проявления информационных угроз с внедрением информационных технологий учета требований информационной безопасности.

В Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203, в качестве одного из основных направлений развития информационных технологий названа информационная безопасность. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» среди мер защиты называет правовые, организационные и технические.

Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации (далее – УПК РФ) (Глава 56) предусматривает, что процессуальные документы могут быть выполнены типографским, электронным или иным способом. Статья 474.1 УПК РФ предусматривает порядок использования электронных документов в ходе судебного производства, а ст. 474.2 – на досудебной стадии судопроизводства.

Риски для информационной безопасности, свойственные для многих систем электронного документооборота классифицированы следующим образом:

– угроза целостности данных;
– нарушение конфиденциальности;
– ограничение доступности;
– сбои в функционировании системы;
– трудности с подтверждением авторства документов [2, с. 70-71].

Эта классификация может быть применена и для систем электронного документооборота, которые используются в уголовном судопроизводстве.

Для обеспечения информационной безопасности электронного документооборота в уголовном судопроизводстве могут применяться правовые, организационные, физические, технические, криптографические и иные аппаратно-программные средства защиты [3, с. 258].

Говоря о правовом регулировании применения электронного документооборота, можно отметить его несовершенство. Например, ст. 222 УПК РФ предусматривает, что обвиняемому может быть вручена копия обвинительного заключения в виде электронного документа, подписанного усиленной квалифицированной электронной подписью. Если обвиняемый содержится под стражей, документ вручается на предоставленном органом предварительного расследования техническом устройстве для чтения электронных документов, не имеющем функций аудио- и видеозаписи, видеовоспроизведения и выхода в информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет». Таким образом, существующий порядок не предусматривает возможности проверки таким обвиняемым подлинности (действительности) усиленной квалифицированной электронной подписи, что не обеспечивает информационную безопасность документа с точки зрения его подлинности и соответствия документу, содержащемуся в материалах «бумажного» уголовного дела.

Организационные меры защиты информации также требуют тщательной проработки. В настоящее время технологии распознавания с использованием методов машинного обучения достигли такого уровня, при котором их можно эффективно применять в прикладных задачах [4, с. 25-31]. Наиболее пригодными для практического применения следователями, прокуро-

рами, судьями в уголовном судопроизводстве представляются открытые системы искусственного интеллекта (далее – ИИ). Однако пользователям необходимо учитывать, что при загрузке данных в системы ИИ возникают ограничения, нацеленные на обеспечение сохранения тайны следствия и конфиденциальной информации. На сегодняшний день отсутствуют гарантии соблюдения пользователями ограничений использования ИИ. Любой участник процесса, в том числе профессиональный, может загрузить в систему ИИ процессуальные документы с целью их обработки [5, 54-61], что не гарантирует обеспечения конфиденциальности содержащейся в них информации. В то же время, например, Инструкция по эксплуатации средств вычислительной техники, информационных систем и информационных ресурсов органов прокуратуры Российской Федерации, утвержденная приказом Генерального прокурора Российской Федерации от 24.11.2021 № 701, запрещает передавать посредством сети «Интернет» служебную информацию. Указанное требование распространяется и на использование открытых систем ИИ (Информационное письмо Генеральной прокуратуры Российской Федерации «О недопустимости использования внешних сервисов искусственного интеллекта при обработке служебной информации» от 13.07.2026 № 11-04-2026/Ип26337). Принятие подобных организационных мер позволяет обеспечить защиту служебной информации и тайну следствия.

Физические средства защиты информации также являются необходимым элементом обеспечения информационной безопасности. Должна быть предусмотрена защита оборудования и документов от несанкционированного доступа к ним, а также защита от перехвата информационного потока.

Говоря о технических средствах защиты информации в сфере уголовного судопроизводства, необходимо обратить внимание на аспект, связанный с защитой потерпевших, свидетелей и других участников уголовного процесса. Федеральный закон от 20.04.2004 № 119-ФЗ «О государственной защите потерпевших, свидетелей и иных участников уголовного судопроизводства» предусматривает конфиденциальность сведений о защищаемом лице как одну из мер безопасности. Сохранение конфиденциальности защищаемого лица является одной из наиболее эффективных мер обеспечения безопасности участников уголовного судопроизводства [6, с. 80-86]. К информации ограниченного доступа относятся персональные данные лиц, в отношении которых принято решение о применении мер государственной защиты, а также сведения о факте реализации мер государственной защиты и мер безопасности, применяемых к этим лицам. Порядок реализации мер безопасности, обеспечивающих конфиденциальность информации об охраняемом лице, определен Постановлением Правительства Российской Федерации от 14.07.2015 г. № 705. В соответствии с ним осуществление мер безопасности в виде обеспечения конфиденциальности сведений о защищаемом лице производится по решению органа, осуществляющего меры безопасности, путем изменения номеров телефонов защищаемого лица, государственных регистрационных знаков, используемых им или принадлежащих ему транспортных средств, наложения запрета на выдачу сведений о защищаемом лице из государственных и иных информационно-справочных фондов, а также путем наложения запрета на распространение информации, содержащей сведения о защищаемом лице. Орган осуществляющий защиту определяет перечень организаций и ведомств, которые могут располагать сведениями об охраняемом лице, направляет в эти организации копию решения о применении мер безопасности, которое является прямым предписанием об ограничении разглашения информации этим организациям.

В современных условиях цифровизации общественных отношений перечень операторов, обладающих сведениями и обрабатывающих их, очень обширен, что существенно усложняет реализацию мер безопасности. При этом установить полный список таких органов и организаций и направить им соответствующий запрет очень сложно, если вообще возможно [7, 8, 9].

Выражая солидарность с авторами [10, с. 214-225], полагающими, что принятие Федерального закона от 28.02.2025 № 23-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон

«О персональных данных» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» положительно скажется на обеспечении конфиденциальности сведений о защищаемых лицах, необходимо отметить, что механизм реализации данных правовых положений пока еще недостаточно проработан.

Останавливаясь на криптографических средствах защиты информации, необходимо учитывать, что информация в электронной форме, подписанная квалифицированной электронной подписью, признается электронным документом, равнозначным документу на бумажном носителе, подписанному собственноручной подписью. Электронная цифровая подпись представляет собой особую комбинацию цифр, которая формируется на основе содержания электронного документа и личного секретного кода пользователя. Эта комбинация несет в себе сведения, позволяющие безошибочно установить личность лица, подписавшего документа. Комплекс данных, входящих в состав подписи, гарантирует ее подлинность и неизменность. В частности, она включает дату создания подписи, идентификатор секретного ключа, период его действительности, сведения о субъекте, который подписал документ, а также наименование соответствующего открытого ключа. Воспроизвести электронную подпись пользователя, не обладая его секретным ключом, является невыполнимой задачей. Таким образом, обеспечение безопасности закрытого (секретного) ключа от несанкционированного доступа становится критически важным, и эта задача должна решаться в рамках осуществления процедуры уголовного судопроизводства.

Аппаратно-программные средства защиты информации представляют собой специализированные контроллеры вместе с соответствующим программным обеспечением. Их основная функция заключается в контроле всех операций, связанных с доступом к информационной системе. Это включает в себя установку защитных механизмов, предотвращающих несанкционированное изменение главной загрузочной записи, загрузочных секторов, а также различных файлов. Важно отметить, что использование таких средств защиты должно быть строго регламентировано.

Проблематика применения информационных технологий в уголовном судопроизводстве является актуальной и с точки зрения информационной безопасности требует дальнейшего тщательного анализа с целью выработки модели их применения, сочетающей правовые, организационные, физические, технические, криптографические и иные аппаратно-программные средства защиты информации.

Список литературы

1. Овчинников Ю.Г. Ознакомление сторон с копиями материалов дела, изготовленными в формате электронного документа // Законность. – 2024. – № 4. – С. 52–55.

2. Ушаков Н.О., Сибикина И.В., Космачева И.М. Информационная безопасность в системах электронного документооборота // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. – 2021. – № 1. – С. 70-71.

3. Зуев С.В. Правовые и организационно-технологические гарантии цифрового уголовного судопроизводства: монография / под ред. докт. юрид. наук, проф. С.В. Зуева. – М.: Юрлитинформ, 2025. – С. 258.

4. Гайдуков И.Ю. Применение бланков процессуальных документов // Законность. – 2026. – № 3. – С. 25-31.

5. Махтюк С.О. Искусственный интеллект в уголовном процессе: от разговоров к делу. Эффективные способы упростить работу следователя и суда // Уголовный процесс. – 2025. – № 9(249). – С. 54-61.

6. Старостин С.А., Кириловский О.В. Особенности реализации отдельных мер безопасности в отношении сотрудников уголовно-исполнительной системы и их близких // Вестник Самарского юридического института. – 2018. – № 3(29). – С. 80-86.

7. Проблемы законодательного регулирования оборота информации, относящейся к служебной тайне в органах внутренних дел Российской Федерации: монография / А.Н. Прокопенко [и др.]. – Белгород: Бел ЮИ МВД России имени И.Д. Путилина, 2017. – 120 с.

8. Камалова Г.Г. Правовое обеспечение конфиденциальности информации в условиях развития информационного общества: автореферат дис.... доктора юридических наук: 12.00.13. – Москва, 2020. – 52 с.

9. Лукинский А.В. Становление и развитие института государственной защиты (историкоправовое исследование): дис. ... канд. юрид. наук. – Москва, 2013. – 185 с.

10. Филимоненко И.А. Исполнение меры безопасности в виде обеспечения конфиденциальности сведений о защищаемых лицах в условиях развития информационных технологий / И. А. Филимоненко // Полицейская и следственная деятельность. – 2026. – № 1. – С. 214-225.

УДК 343.342

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ В СИСТЕМЕ ПРЕВЕНЦИИ ПРЕСТУПНОСТИ НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ: КОНСТИТУЦИОННО-ПРАВОВОЙ И УГОЛОВНО-ПРАВОВОЙ АСПЕКТЫ

Гайнов И.Д., к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой государственно-правовых дисциплин Казанского юридического института (филиала) ФГКОУ ВО «Университет прокуратуры Российской Федерации», г. Казань, Россия

CYBERSECURITY IN THE SYSTEM OF PREVENTING JUVENILE CRIME: CONSTITUTIONAL AND CRIMINAL LAW ASPECTS

Gainov I.D., Candidate of Legal Sciences, Associate Professor, Head of the Department of State and Legal Disciplines at the Kazan Law Institute (branch) of the University of the Prosecutor office of the Russian Federation, Kazan, Russia

Аннотация

Представленная статья посвящена комплексному анализу проблемы роста преступности несовершеннолетних в цифровой среде, рассматриваемой через призму правового конфликта между необходимостью обеспечения кибербезопасности и защитой конституционных прав граждан. Автор акцентирует внимание на качественной трансформации преступности несовершеннолетних, обусловленной массовым вовлечением последних в виртуальное пространство, что на фоне криминологической статистики требует пересмотра устоявшихся подходов к профилактике и уголовно-правовому противодействию.

Ключевым в работе является преодоление методологической трудности, вызванной неэффективностью традиционных реактивных мер профилактики преступности несовершеннолетних в условиях анонимности и латентности цифровых коммуникаций. Автор предлагает переход к проактивной модели, основанной на комплексном подходе.

Центральным в исследовании становится поиск баланса между внедрением технологий искусственного интеллекта для скрининга сетевой активности и соблюдением гарантий, закрепленных статьями 23 и 24 Конституции РФ. Обосновывается особенности правового регулирования мониторинга открытого сегмента сети и закрытых средств цифровой коммуникации, для которой предлагается механизм судебного контроля.

Отдельное внимание в статье уделено проблеме возрастной дифференциации ответственности на примере дропперства, где выявлено несоответствия возраста, с которого насту-

пает уголовная ответственность и возраста, с которого несовершеннолетний, с точки зрения гражданского законодательства, вправе открывать банковский счет, а соответственно иметь фактическую возможность участвовать в транзите преступных доходов.

Обоснован вывод о том, что сочетание механизма судебного контроля, возрастной дифференциации и образовательного компонента способно переломить негативную тенденцию без ущерба для конституционных прав и свобод человека и гражданина.

Ключевые слова: преступность несовершеннолетних, способы вовлечения в совершение преступления, предупреждение преступности несовершеннолетних, дропперство, киберпреступление

Abstract

The presented article is devoted to a comprehensive analysis of the problem of the growing crime rate among minors in the digital environment, examined through the lens of the legal conflict between the need to ensure cybersecurity and the protection of citizens' constitutional rights. The author focuses on the qualitative transformation of juvenile crime, which is due to the mass involvement of minors in the virtual space; against the backdrop of criminological statistics, this requires a revision of established approaches to prevention and criminal-legal counteraction. The key aspect of the work is overcoming the methodological challenge caused by the ineffectiveness of traditional reactive measures to prevent juvenile crime in the context of the anonymity and latency of digital communications. The author proposes a transition to a proactive model based on a comprehensive approach. Central to the study is the search for a balance between the implementation of artificial intelligence technologies for screening online activity and the observance of guarantees enshrined in Articles 23 and 24 of the Constitution of the Russian Federation. The paper substantiates the specifics of the legal regulation of monitoring the open segment of the network and closed means of digital communication, for which a mechanism of judicial control is proposed. Special attention in the article is paid to the problem of age differentiation of responsibility using the example of droppingism, which revealed discrepancies between the age at which criminal liability begins and the age at which a minor, from the point of view of civil law, has the right to open a bank account, and therefore have the actual opportunity to participate in the transit of criminal proceeds. The conclusion is substantiated that the combination of the judicial control mechanism, age differentiation and the educational component can reverse the negative trend without prejudice to the constitutional rights and freedoms of man and citizen.

Keywords: Juvenile crime, methods of inducing someone to commit a crime, prevention of juvenile crime, dropshipping, cybercrime

Введение

Стремительное проникновение цифровых технологий во все сферы общественных отношений породило феномен, который в юридической науке все чаще обозначают как «цифровая социализация» [1, с. 5-11; 2, с. 544-547]. Для несовершеннолетних виртуальное пространство стало не просто средством коммуникации, но фундаментальной средой существования, формирующей модели поведения, ценностные ориентации и, что особенно важно для правовой науки, представления о дозволенном и запретном. По данным исследования, проведенного еще в 2023 году порядка 99 % несовершеннолетних в возрасте от 14 до 17 лет имеют доступ к сети Интернет, а 97 % регулярно пользуются социальными сетями и мессенджерами[1]. Эти цифры, будучи значительными сами по себе, обретают особый смысл в контексте криминологической статистики: если в 2005 году в России зарегистрировано 10214 преступлений в сфере

[1] Дети в Интернете // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»: сайт. – URL: https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/laboratoriya-kasperskogo-rossijskie-deti-provodyat-v-onlajne-okolo-chetyryoh-chasov-ezhednevno. – дата публикации: 01.06.2023.

компьютерной информации[1], то в 2025 году этот показатель составил 675372[2] преступления. При этом, если сравнить этот показатель с общим количеством зарегистрированных преступлений, то получится чуть больше 38 %. Особую тревогу вызывает не столько количественный рост, сколько качественная трансформация, в том числе преступности несовершеннолетних. Например, за период с 2022 по 2025 год количество преступлений с использованием информационно-коммуникационных технологий, совершенных несовершеннолетними, выросло с 4800 до 8800[3]. Сложившаяся ситуация вскрывает криминологическую и уголовно-правовую проблему, разрешение которой требует пересмотра устоявшихся подходов к профилактике, квалификации и уголовной ответственности как несовершеннолетних, так и лиц, вовлекающих их в совершение преступлений.

Методика

Главная методологическая трудность, с которой сталкивается современная юридическая наука при анализе данного феномена, заключается в том, что традиционная превентивная модель, ориентированная на реактивное реагирование и постфактумное воздействие, оказывается бессильной перед вызовами цифровой эпохи. Многочисленные субъекты системы профилактики, доказавшие свою эффективность в условиях аналогового общества, в виртуальной реальности работают с запозданием, поскольку фиксируют уже состоявшееся противоправное поведение, а не его возникновение. Между тем специфика киберпреступности такова, что момент вовлечения подростка в криминальную среду практически всегда остается за пределами правового поля в силу высокой латентности и анонимности цифровых коммуникаций. Именно поэтому в последние годы в научном дискурсе все настойчивее звучит идея перехода к цифровой профилактике, основанной на непрерывном мониторинге сетевой активности и выявлении так называемых криминогенных маркеров – поведенческих паттернов, свидетельствующих о постепенном погружении несовершеннолетнего в деструктивную среду.

Основная часть

Реализация указанной проактивной модели неизбежно сопряжена с вмешательством в сферу частной жизни, гарантированную статьями 23 и 24 Конституции Российской Федерации[4], а также с ограничением тайны переписки, телефонных переговоров, почтовых, телеграфных и иных сообщений, что допустимо только на основании судебного решения[5]. Иными словами, правовая система оказывается перед классической дилеммой: как обеспечить безопасность общества и защиту несовершеннолетних от криминального рекрутинга, не превратив при этом государство в тотального наблюдателя, сканирующего каждый цифровой шаг гражданина.

Данное противоречие, на наш взгляд, не является принципиально неразрешимым, однако его преодоление требует не технократического оптимизма, а тонкой юридической дифференциации. Представляется, что ключ к решению лежит в различении двух категорий цифрового пространства: открытой, публичной его части, где информация размещается неограниченным кругом лиц и доступна для любого пользователя, и закрытой, приватной сферы, составляющей содержание личных коммуникаций. В отношении первой – публичных постов, комментариев, открытых групп и каналов – применение автоматизированных систем скри-

[1] Отчет о состоянии преступности в России (январь-декабрь 2005 года) // Министерство внутренних дел Российской Федерации // URL: https://xn--b1aew.xn--p1ai/reports/item/209686/. (дата обращения: 10.08.2026).

[2] Отчет о состоянии преступности в России (январь-декабрь 2005 года) // Министерство внутренних дел Российской Федерации // URL: https://xn--b1aew.xn--p1ai/reports/item/77848182/. (дата обращения: 10.08.2026).

[3] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 мая 2026 г. № 1272-р Об утверждении Концепции развития системы профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних на период до 2036 года и плана мероприятий на 2026 - 2036 годы по её реализации // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/414221377/. (дата обращения: 07.08.2026).

[4] Конституция Российской Федерации // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: https://constitution.garant.ru/. (дата обращения: 07.08.2026).

[5] Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации (ст. 13) // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: https://base.garant.ru/12125178/. (дата обращения: 07.08.2026).

нинга и искусственного интеллекта для выявления деструктивного контента не вызывает серьезных конституционных возражений, поскольку субъект, размещая информацию в открытом доступе, добровольно отказывается от ее приватности, а, следовательно, соглашается на потенциальное наблюдение. Более того, действующее законодательство[1] уже предусматривает механизмы внесудебной блокировки опасных ресурсов, что свидетельствует о признании государством своей прерогативы в регулировании публичного цифрового пространства. Что же касается закрытых коммуникаций – личных сообщений, защищенных чатов, переписки в мессенджерах, – то здесь вмешательство допустимо исключительно на основании судебного акта, выносимого в порядке, аналогичном предусмотренному статьей 186.1 УПК РФ для получения информации о соединениях между абонентами и (или) абонентскими устройствами[2]. Однако, в отличие от действующей процедуры, мы предлагаем распространить судебный контроль не только на этап получения уже накопленных данных, но и на использование систем искусственного интеллекта в превентивных целях, то есть для автоматической фильтрации текущего трафика конкретного лица на предмет выявления криминогенных паттернов. Такой подход, предполагающий выдачу судебного ордера на ИИ-мониторинг при наличии достаточных оснований, предусмотренных статьей 7 Федерального закона «Об оперативно-розыскной деятельности»[3], позволил бы сохранить баланс между публичным интересом в профилактике подростковой преступности и конституционным правом на неприкосновенность частной жизни, одновременно превратив технологию из инструмента тотальной слежки в санкционированную и контролируемую меру предупредительного характера.

Не менее сложной представляется и уголовно-правовая составляющая рассматриваемой проблемы, которая в существующих исследованиях нередко упрощается до констатации факта роста преступности без должного внимания к возрастной дифференциации ответственности. Между тем именно возрастной аспект порождает наиболее острые коллизии в правоприменительной практике, особенно в отношении такого распространенного явления, как вовлечение несовершеннолетних в так называемое дропперство – транзит похищенных денежных средств через банковские карты под видом «легкого заработка». Согласно действующему уголовному законодательству, ответственность за легализацию (отмывание) денежных средств, приобретенных другими лицами преступным путем (ст. 174 УК РФ), неправомерный оборот средств платежей (ст. 187 УК РФ) наступает с шестнадцати лет, что создает парадоксальную ситуацию: несовершеннолетний в возрасте 14 лет вправе открыть банковский счет и распоряжаться им с письменного согласия родителей на основании ст. 26 ГК РФ[4], но в то же время его действия по транзиту заведомо криминальных средств остаются за рамками уголовно-правового преследования вплоть до достижения 16-летнего возраста. Эту правовую лазейку криминальные рекрутеры активно используют, целенаправленно вербуя несовершеннолетних[5], поскольку, в обозначенных случаях, осознают их фактическую неуязвимость перед уголовным законом. Выход из этого противоречия, на наш взгляд, лежит не в механическом снижении возраста уголовной ответственности по всем составам, что было бы чрезмерно репрессивным шагом, не соответствующим принципам гуманизма, а в более тонкой конструкции квалификации соответствующего преступного деяния. Действия дроппера, осознающего

[1] Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: https://base.garant.ru/12125178/. (дата обращения: 17.08.2026).

[2] Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации (ст. 13) // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: https://base.garant.ru/12125178/. (дата обращения: 16.08.2026).

[3] Федеральный закон от 12.08.1995 № 144-ФЗ «Об оперативно-розыскной деятельности» // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: https://base.garant.ru/10104229/. (дата обращения: 18.08.2026).

[4] Гражданский кодекс Российской Федерации // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: https://base.garant.ru/10164072/. (дата обращения: 16.08.2026).

[5] По данным Банка России 20 % дропперов — дети // Банк России: сайт. – URL: https://cbr.ru/press/regevent/?id=65002&ysclid=mt8enu6d5k334560779. – дата публикации: 06.02.2026.

криминальное происхождение переводимых средств и транзитный характер своих операций, по сути, представляют собой не столько легализацию, сколько пособничество в хищении, поскольку без его содействия вывод и обналичивание похищенных денег были бы существенно затруднены или невозможны. При таком понимании деяние подпадает под признаки ч. 5 ст. 33 и соответствующих статей Особенной части УК РФ, где ответственность наступает с 14 лет. Однако для единообразного применения данной квалификации необходимо соответствующее разъяснение Пленума Верховного Суда Российской Федерации, которое бы прямо указало, что действия лица, предоставляющего банковскую карту для транзита средств, заведомо добытых преступным путем, при осознании им этого обстоятельства следует рассматривать как соучастие в хищении, а не как самостоятельное деяние по легализации. Такое разъяснение, не требуя изменения уголовного закона, позволило бы эффективно противодействовать вовлечению подростков в схему дропперства уже с 14-летнего возраста, закрыв тем самым существующую зону правовой терпимости.

Наряду с указанными мерами уголовно-правового и процессуального характера, важнейшую роль в системе профилактики играет образовательный компонент, который, однако, в существующих исследованиях нередко сводится к общим призывам повышать цифровую грамотность без закрепления этих призывов в позитивном праве. Между тем именно правовое просвещение, будучи переведенным из плоскости рекомендаций в плоскость юридических обязательств, способно стать тем фундаментом, на котором строится устойчивое законопослушное поведение несовершеннолетних в цифровой среде. Анализ практики показывает, что многие подростки, совершающие преступления с использованием информационно-коммуникационных технологий, действуют под влиянием иллюзии анонимности и безнаказанности, искренне полагая, что виртуальные действия не имеют материальных последствий и не влекут реальной ответственности. Разрушение этой иллюзии требует систематического, а не эпизодического просвещения, которое должно начинаться со школьной скамьи и охватывать не только правила технической безопасности, но и уголовно-правовые последствия противоправного поведения в сети Интернет. В связи с этим представляется целесообразным внести изменения в Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования[1], дополнив его положением об обязательном изучении курсов по цифровой и правовой грамотности. При этом их содержание не должно ограничиваться абстрактными рассуждениями о вреде киберпреступности, а обязано включать базовые знания о соответствующих составах преступлений, о механизмах вербовки, о необходимости категорического отказа от противоправных предложений и обязанности сообщать о них в правоохранительные органы. Кроме того, такая мера будет способствовать не только профилактике преступлений, но и формированию у несовершеннолетних устойчивой правовой культуры, что в долгосрочной перспективе гораздо эффективнее репрессивных мер, поскольку смещает фокус с наказания на предупреждение.

Рассматривая потенциальные пути совершенствования системы профилактики, нельзя обойти вниманием и системные барьеры, которые препятствуют реализации даже самых совершенных правовых конструкций. Прежде всего, это кадровый дефицит – как в системе образования[2], так и в правоохранительных органах[3] остро не хватает специалистов, сочетающих юридическую подготовку с глубокими знаниями в области информационных технологий. Подготовка таких кадров в рамках существующих университетских программ затруднена в силу междисциплинарного характера требуемых компетенций. Для решения проблемы требуется либо создание новых образовательных программ, либо модернизация существующих.

---

[1] Приказ Министерства просвещения РФ от 31.05.2021 № 287 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования» // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401333920/. (дата обращения: 26.08.2026).

[2] Быть учителем снова модно. Но почему педагогов в школе не хватает? // Российская газета: сайт. – URL: https://rg.ru/2026/08/10/ia-b-v-uchitelia-poshel.html?ysclid=mt8kaiq3gd315229734&utm_referrer=https%3A%2F%2Fya.ru%2F. – дата публикации: 10.08.2026.

[3] Число уволившихся из МВД за год на 40% превысило количество нанятых сотрудников // Коммерсант: сайт. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/8443130?ysclid=mt8khpdyk768407102. – дата публикации: 19.02.2026.

Выводы

Подводя итог проведенному анализу, следует признать, что кибербезопасность в современную цифровую эпоху перестала быть узкотехнической дисциплиной и превратилась в фундаментальный элемент государственной системы во многих сферах, в том числе – профилактики преступности несовершеннолетних, эффективность которого прямо пропорциональна не только технологическому оснащению, но и юридической обоснованности применяемых мер.

Система цифровой превенции, основанная на судебном контроле, возрастной дифференциации и правовом просвещении позволит использовать технологический потенциал, не жертвуя при этом фундаментальными основами конституционных прав и свобод граждан.

Создание судебного фильтра для ИИ-мониторинга закрытых коммуникаций, совершенствование подходов к квалификации дропперства, а также развитие образовательных программ, на наш взгляд, способны переломить негативную тенденцию роста преступности несовершеннолетних.

Список литературы

1. Микляева, А. В. Цифровое общество и цифровая социализация: перспективы социально-психологических исследований / А. В. Микляева // Социальная психология и общество. – 2024. – Т. 15, № 2. – С. 5-11.

2. Дудин, Г. А. Цифровизация общества и цифровая социализация в матрице проблем социологии цифрового общества / Г. А. Дудин // Социология новой современности: проблемы, теория, методы: Материалы Всероссийской научной конференции XIX Ковалевские чтения, Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2025 года. – Иваново – Санкт-Петербург: ООО «ПресСто», 2026. – С. 544-547.

УДК 004.056.5

ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА KASPERSKY SECURITY CENTER

Гайнуллин И.И., студент;
ORCID: 0009-0003-3500-9152;
Талипов Н.Г., к.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-0528-0473;
Хусаинов Р.М., ассистент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-4985-7833

CENTRALIZED ENTERPRISE INFORMATION SECURITY MANAGEMENT BASED ON BASED KASPERSKY SECURITY CENTER SOFTWARE SUITE SYSTEM

Gainullin I.I., Student;
ORCID: 0009-0003-3500-9152;
Talipov N.G., Associate Professor of Information Security Systems Department;
ORCID: 0000-0002-0528-0473;
Khusainov R.M., Assistant of the Department of Information Security Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-4985-7833

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы централизованного управления информационной безопасностью предприятия на базе программного комплекса Kaspersky Security Center (включая работу с Kaspersky Endpoint Security). Описываются клиент-серверная архитектура решения, его основные компоненты, включая сервер администрирования, консоль управления, агенты на конечных точках и хранилище обновлений, а также возможности интеграции с различными операционными системами, включая отечественную защищенную платформу Astra Linux Special Edition. Особое внимание уделяется процессу развертывания агентов администрирования и модулей защиты на конечных точках под управлением Windows и Ubuntu, а также поэтапной настройке сервера администрирования в гетерогенной сетевой среде с использованием мастера первоначальной конфигурации. В работе детально приводятся практические результаты конфигурирования и тестирования трех ключевых политик безопасности: контроля устройств (с реализацией ограничения доступа к USB-накопителям по «белому списку» на основе серийных номеров), контроля приложений (с блокированием запуска нежелательного и неподписанного программного обеспечения по принципу «запрет по умолчанию», включая веб-браузеры) и ролевого разграничения доступа администраторов с соблюдением принципа наименьших привилегий. Для каждой политики представлены сценарии тестирования, зафиксированные события блокировок в журнале сервера, уведомления на клиентских рабочих станциях и реакция конечных пользователей. На основе полученных данных продемонстрирована высокая эффективность применения рассмотренных политик для снижения рисков внутренних и внешних угроз, предотвращения утечек конфиденциальной информации через съемные носители, блокировки несанкционированного ПО и повышения общего уровня защищенности информационных ресурсов предприятия в условиях импортозамещения и ужесточения требований регуляторов.

Ключевые слова: информационная безопасность, централизованное управление, Kaspersky Security Center, Kaspersky Endpoint Security, контроль устройств, контроль приложений, разграничение доступа

Abstract

This article examines centralized enterprise information security management based on the Kaspersky Security Center software suite (including Kaspersky Endpoint Security integration). It describes the solution's client-server architecture and key components, including the administration server, management console, endpoint agents, and update repository, as well as its integration capabilities with various operating systems, including the domestically developed secure platform Astra Linux Special Edition. Particular attention is paid to deploying administration agents and protection modules on endpoints running Windows and Ubuntu, as well as the step-by-step configuration of the administration server in a heterogeneous network environment using the initial configuration wizard. The paper provides detailed practical results from configuring and testing three key security policies: device control (with whitelisting USB drives based on serial numbers), application control (blocking unwanted and unsigned software using the «default deny» principle, including web browsers), and role-based access control for administrators adhering to the principle of least privilege. For each policy, test scenarios are presented, along with blocking events recorded in the server log, notifications on client workstations, and end-user responses. The data obtained demonstrates the high effectiveness of the policies examined in mitigating the risks of internal and external threats, preventing confidential information leaks via removable media, blocking unauthorized software, and improving the overall security of enterprise information resources in the context of import substitution and stricter regulatory requirements.

Keywords: information security, centralized management, Kaspersky Security Center, Kaspersky Endpoint Security, device control, application control, access control

Введение

В современных условиях развития корпоративных сетей и ИТ-инфраструктуры сложность информационных систем стремительно растет. Организации используют гетерогенные сетевые среды, облачные технологии, виртуализацию рабочих мест и мобильные конечные точки, что существенно расширяет потенциальный вектор и поверхность кибератак [1, 2]. Злоумышленники активно применяют сложные методы компрометации систем, такие как таргетированные атаки (APT-кампании), вредоносное ПО, фишинг, эксплойты нулевого дня и программы-вымогатели. В связи с этим обеспечение информационной безопасности предприятия требует использования комплексных многоуровневых решений для защиты конечных узлов.

Для эффективной защиты компьютерных систем необходимо не только устанавливать специализированное программное обеспечение на каждую рабочую станцию, но и осуществлять централизованное администрирование этих средств. Ведущим отечественным и международным решением в данном сегменте является программный комплекс компании «Лаборатория Касперского», состоящий из Kaspersky Security Center (KSC) и Kaspersky Endpoint Security (KES) [3-5]. Решение KSC позволяет ИБ-администраторам централизованно управлять политиками безопасности, контролировать обновление сигнатурных баз, осуществлять удаленную установку программных средств защиты и оперативно реагировать на возникающие инциденты безопасности, что критически важно в условиях дефицита времени и необходимости минимизации влияния человеческого фактора. Данная работа посвящена развертыванию, настройке и практическому анализу эффективности применения политик контроля в рамках единой консоли управления.

Актуальность исследования

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения непрерывности бизнес-процессов предприятий и защиты конфиденциальных данных в условиях постоянного роста киберугроз. В последние годы значительно увеличилось количество деструктивных воздействий, направленных на российские коммерческие и государственные структуры. Большинство успешных атак реализуется через компрометацию конечных точек сети (рабочих станций пользователей и серверов), которые часто оказываются наименее защищенным звеном ИТ-инфраструктуры.

В рамках политики импортозамещения в Российской Федерации наблюдается массовый переход корпоративного сектора и государственных учреждений на отечественные сертифицированные операционные системы (в частности, операционные системы семейства Astra Linux). Это ставит перед специалистами по информационной безопасности новые практические задачи по развертыванию кроссплатформенных систем централизованного управления ИБ. Необходимость эффективного администрирования средств защиты в гетерогенной среде (сочетающей рабочие станции Windows и Linux) требует глубокого изучения архитектурных возможностей и практических сценариев применения таких платформ, как Kaspersky Security Center.

Контроль использования съемных носителей информации и ограничение запуска несанкционированного прикладного ПО являются базовыми мерами защиты от внутренних и внешних угроз (согласно требованиям ФСТЭК России по защите персональных данных и государственных информационных систем) [6]. Практическая реализация и верификация эффективности этих мер с помощью групповых политик KSC позволяют минимизировать риск утечки информации через физические интерфейсы (USB) и предотвратить запуск нежелательных приложений, снижая общую вероятность реализации киберинцидентов на конечных точках [7].

Архитектура и функциональный состав средств защиты KSC и KES

Архитектура Kaspersky Security Center

Программный комплекс Kaspersky Security Center построен по клиент-серверной архитектуре и включает следующие основные компоненты: сервер администрирования, консоль

администрирования, агенты администрирования на конечных точках и централизованное хранилище обновлений. Сервер администрирования выступает в роли ядра системы, сохраняя конфигурации политик, отчеты и базы данных в СУБД (SQL Server). Консоль администрирования (MMC-консоль или веб-интерфейс KSC Web Console) обеспечивает графический интерфейс для управления системой. Агент администрирования, устанавливаемый на клиентские устройства, обеспечивает постоянный канал связи и обмен телеметрией между хостом и сервером. Локальный репозиторий KSC снижает нагрузку на интернет-канал при загрузке обновлений.

Защитные модули Kaspersky Endpoint Security

Kaspersky Endpoint Security (KES) обеспечивает непосредственную защиту конечных устройств (как под управлением ОС Windows, так и Linux-дистрибутивов). В состав KES входят ключевые защитные модули: файловый и веб-антивирус (сканирование трафика и файловой системы), поведенческий анализ System Watcher и защита от эксплойтов (отслеживание аномальной активности), контроль устройств Device Control (разграничение доступа к внешним интерфейсам), контроль приложений Application Control (запрет запуска ПО по принципу Default Deny) и шифрование данных FDE/FLE (алгоритм AES-256).

Практическая реализация развертывания системы централизованного управления

Установка и первоначальная настройка KSC на сервере Astra Linux

Внедрение системы централизованного управления проводилось в гибридной сетевой инфраструктуре. На стороне сервера развернута отечественная защищенная ОС Astra Linux Special Edition совместно с Kaspersky Security Center и KSC Web Console [8]. Настройка KSC выполнена с помощью мастера первоначальной конфигурации. На первом этапе администратор определяет тип шифрования (стандартное AES-256) для обеспечения конфиденциальности передаваемых команд и телеметрии трафика управления (рис. 1).



Рис. 1. Выбор типа шифрования при первоначальной настройке KSC

На втором этапе мастера выбираются и устанавливаются плагины управления для целевых версий KES, а также создаются инсталляционные пакеты Агента администрирования и защитных модулей. Далее мастер автоматически генерирует базовый набор административных задач: загрузку обновлений антивирусных баз в хранилище KSC, их отправку на конечные точки и регулярное сканирование (рис. 2).



Рис. 2. Создание базовых административных задач в мастере настройки

Для структурирования сети и избирательного применения политик создаются логические группы администрирования (для рабочих станций Windows и серверов Linux). На заключительном этапе запускается опрос сети, после чего обнаруженные устройства регистрируются в базе KSC и распределяются по группам (рис. 3).

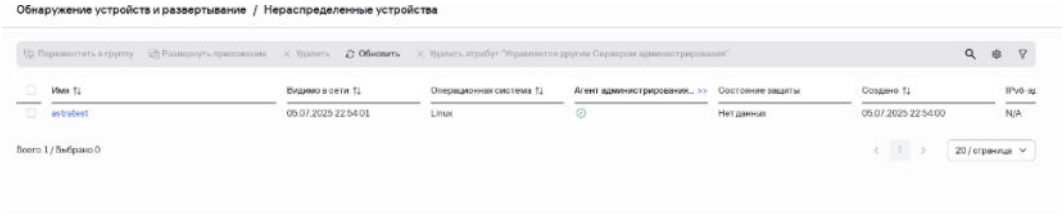


Рис. 3. Распределение обнаруженных сетевых устройств
по группам администрирования

Сервер под управлением ОС Astra Linux Special Edition с комплексом управления KSC перемещается в выделенную административную группу хостов Linux (рис. 4), что позволяет применять к нему специализированные правила самозащиты.

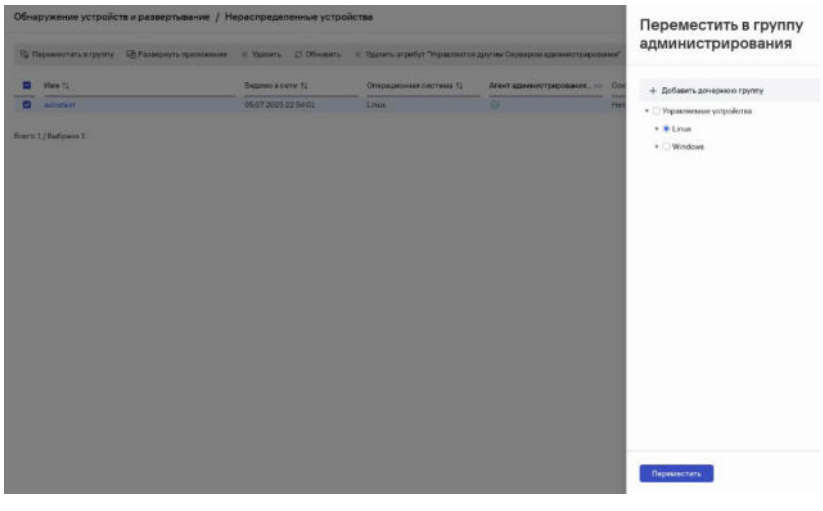


Рис. 4. Сервер администрирования Astra Linux в группе Linux

Удаленное развертывание средств защиты на рабочие станции

Для обеспечения защиты клиентских узлов запускается Мастер развертывания защиты. В окне мастера выбирается предварительно созданный инсталляционный пакет Агента администрирования и KES для целевой платформы (Windows или Linux) (рис. 5).

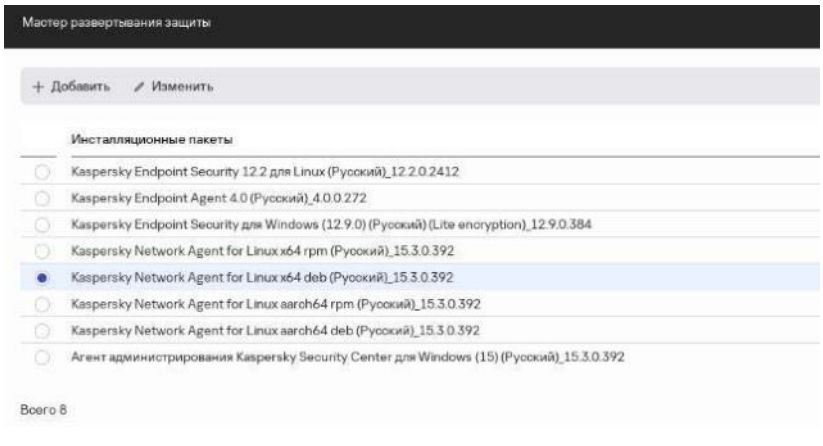


Рис. 5. Выбор дистрибутива KES для удаленной установки

Далее задается способ лицензирования (через инсталляционный пакет или автоматически с сервера KSC) и определяются целевые устройства для удаленной установки (идентификация хостов по IP-адресам, доменным именам AD или именам в рабочей группе) (рис. 6).

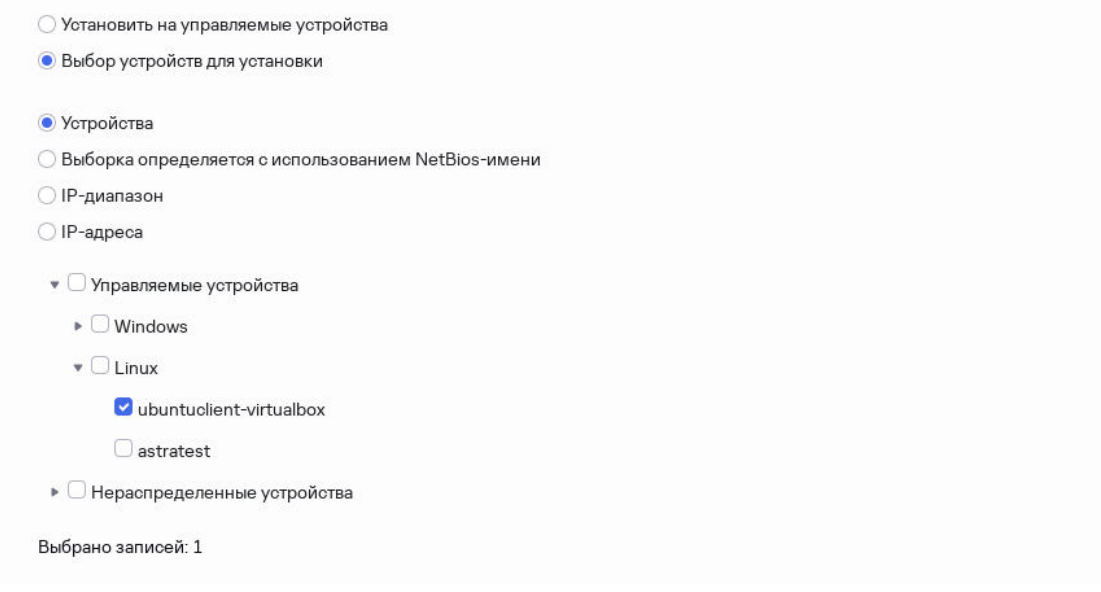


Рис. 6. Выбор целевых устройств для удаленной установки модулей защиты

На заключительном шаге задаются параметры выполнения установки: учетная запись администратора целевого хоста и необходимость перезагрузки системы.

Создание и запуск административных задач

Для регулярного контроля состояния защищенности рабочих станций создаются периодические групповые задачи. Через Мастер создания задач выбирается приложение KES, тип операции «Поиск вредоносного ПО» и область сканирования. После выполнения задачи на клиенте результаты проверки и статистика нейтрализованных угроз передаются в KSC и выводятся в окне отчета (рис. 7).

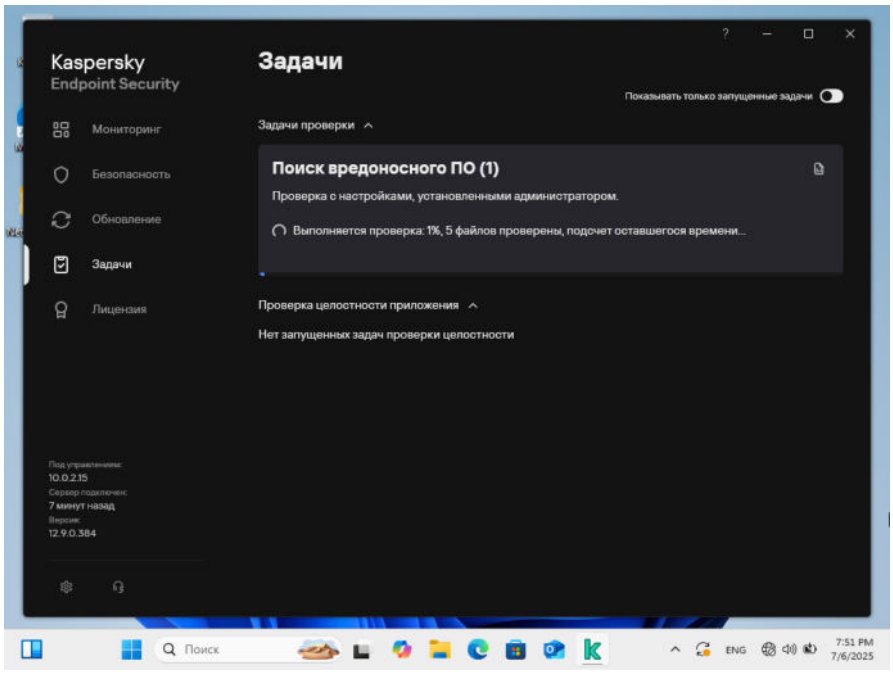


Рис. 7. Отчет о результатах выполнения задачи сканирования на рабочей станции

Настройка и тестирование политик безопасности на конечных точках

Для снижения внутренних и внешних угроз в KSC разработаны и протестированы три ключевые политики безопасности: контроль съемных носителей, контроль приложений и ролевое администрирование.

Контроль съемных носителей (Device Control)

Политика Device Control ограничивает подключение недоверенных физических устройств к рабочим станциям. В свойствах групповой политики KES активируются компоненты контроля и формируется «белый список» доверенных накопителей по их серийным номерам (рис. 8).

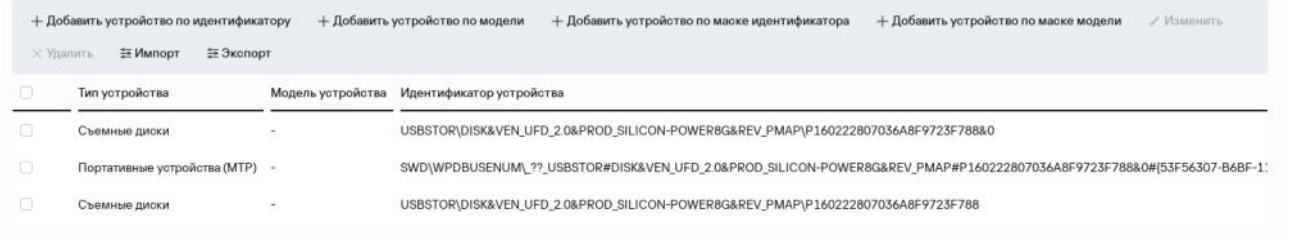


Рис. 8. Конфигурирование списка разрешенных доверенных USB-накопителей в политике

Для остальных съемных дисков устанавливается запрет на доступ. При попытке подключения сторонней флэш-карты Агент KES мгновенно блокирует накопитель и выводит предупреждающее уведомление пользователю (рис. 9).

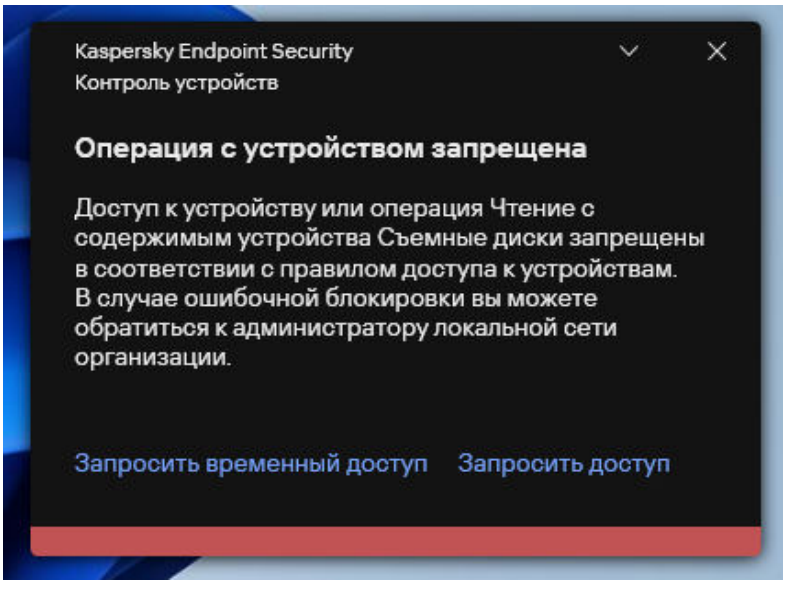


Рис. 9. Уведомление пользователя о блокировке неавторизованного USB-устройства на клиенте

В то же время на сервере администрирования KSC регистрируется критическое событие с указанием имени хоста, учетной записи и серийного номера заблокированного USB-устройства (рис. 10).

Блокирование запуска нежелательного ПО (Application Control)

Политика Application Control позволяет ограничить запуск стороннего ПО (в тестовом сценарии – веб-браузеров). В меню настройки создается запрещающее правило с условиями блокировки по категории ПО, цифровым подписям разработчиков или хэш-суммам исполняемых модулей (рис. 11).

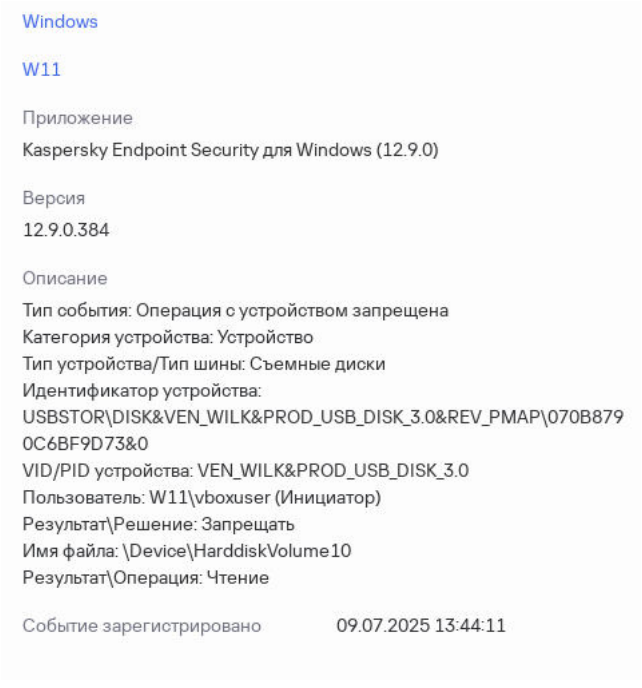


Рис. 10. Регистрация события попытки подключения недоверенного устройства на сервере KSC



Рис. 11. Настройка условий блокировки запуска веб-браузеров по цифровым подписям

При попытке запуска браузера на рабочей станции операционная система блокирует процесс, а KES выводит уведомление о запрете запуска администратором (рис. 12).

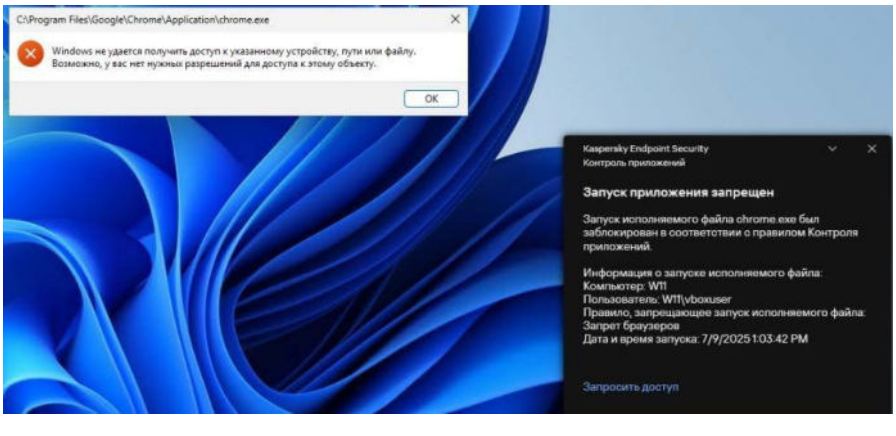


Рис. 12. Сообщение о блокировке запуска браузера на рабочей станции пользователя

На сервере KSC мгновенно фиксируется событие инцидента с указанием пути к файлу, имени пользователя и времени попытки запуска (рис. 13).

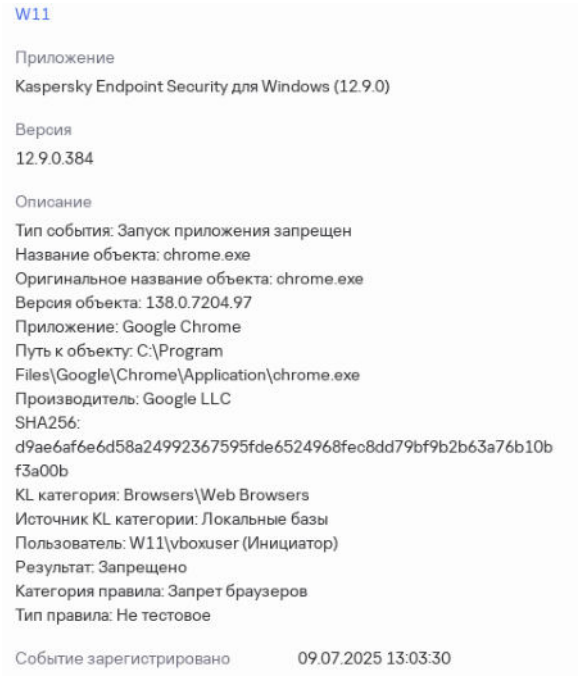


Рис. 13. Событие блокировки запуска нежелательного приложения в журнале сервера KSC

Ролевое разграничение прав доступа администраторов

Для соблюдения принципа наименьших привилегий в KSC настраивается ролевая модель доступа. В консоли создается учетная запись ограниченного пользователя (оператора мониторинга) и роль, позволяющая просматривать структуру, отчеты и события, но запрещающая изменять политики и задачи (рис. 14).

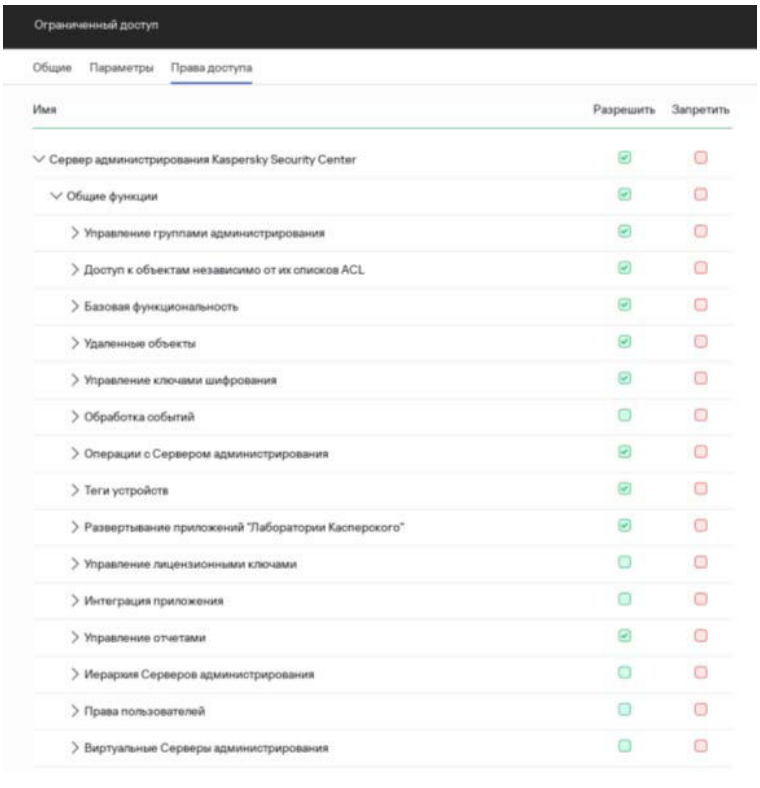


Рис. 14. Настройка прав доступа для ограниченной роли администратора в консоли KSC

При входе под ограниченной учетной записью попытка изменить параметры групповой политики или запустить задачу блокируется интерфейсом KSC (рис. 15).

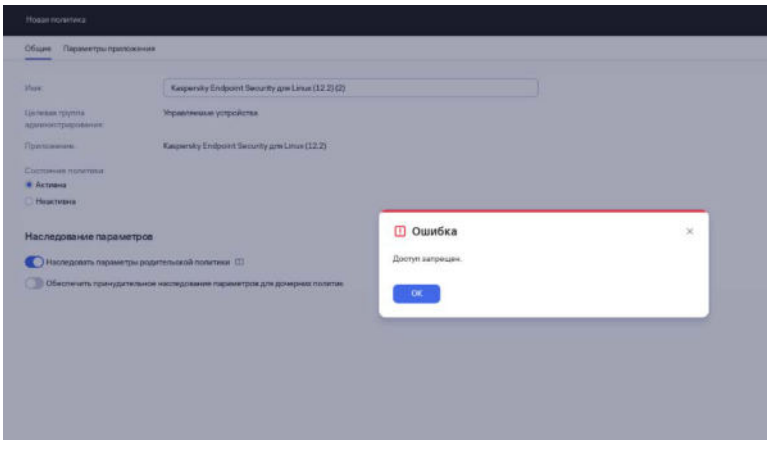


Рис. 15. Блокировка изменения параметров политики KSC ограниченным пользователем

Результаты работы и их практическая значимость

В ходе работы развернут контур управления ИБ на базе ОС Astra Linux Special Edition. Практическая значимость заключается в подтверждении эффективности ключевых политик: Device Control обеспечивает допуск только доверенных USB-накопителей, Application Control реализует концепцию «белых списков» приложений, а ролевая модель KSC ограничивает привилегии администраторов. Все инциденты в режиме реального времени фиксируются на сервере KSC, что дает ИБ-службе полную видимость состояния защищенности инфраструктуры.

Заключение

Таким образом, внедрение комплекса Kaspersky Security Center и Kaspersky Endpoint Security в гетерогенной среде обеспечивает высокое соответствие государственным стандартам ИБ и требованиям регуляторов. Развертывание сервера KSC на ОС Astra Linux Special Edition позволяет реализовать импортонезависимый контур управления. Практическая проверка политик Device Control и Application Control подтвердила их эффективность для предотвращения утечек данных и запуска несанкционированного ПО, а ролевое разграничение прав доступа минимизирует риски деструктивных действий персонала, закладывая основу защищенности корпоративной сети [9, 10].

Список литературы

1. Мартынова, А. И. Безопасность в сфере информационных технологий: основные угрозы и способы их предотвращения / А. И. Мартынова // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2024. – № 2 (50). – С. 20-24.

2. Шмонова, Е. Д. Киберпреступность как основная угроза цифровой безопасности / Е. Д. Шмонова // Наукоград: наука, производство, общество. – 2024. – № 3-2. – С. 45-49.

3. Kaspersky Security Center // Kaspersky. – URL: https://www.kaspersky.ru/small-to-medium-business-security/security-center (date of access: 08.07.2026).

4. Kaspersky Endpoint Security // Kaspersky. – URL: https://www.kaspersky.ru/small-to-medium-business-security/endpoint-windows (date of access: 08.07.2026).

5. Kaspersky Security Center 15.1 // Kaspersky Online Help. – URL: https://support.kaspersky.com/help/KSC/15.1/ru-RU/5022.htm (date of access: 08.07.2026).

6. Kaspersky Endpoint Security для Windows 12.9 // Kaspersky Online Help. – URL: https://support.kaspersky.com/help/KESWin/12.9/ru-RU/222859.htm (date of access: 08.07.2026).

7. Endpoint Prevention & Response (EPR) Test 2020 // AV-Comparatives. – URL: https://www.av-comparatives.org/tests/endpoint-prevention-response-epr-test-2020/ (date of access: 08.07.2026).

8. Астра Линейка: ОС Astra Linux Special Edition // ГК «Астра». – URL: https://astralinux.ru/products/astra-linux/special-edition/ (дата обращения: 08.07.2026).

9. Шаньгин, В. Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: учеб. пособие / В. Ф. Шаньгин. -Москва : ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2017. -416 с.

10. Мельников, В. П. Информационная безопасность: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. П. Мельников, С. А. Клейменов, А. М. Петраков; под ред. С.А. Клейменова. – 7-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2014. – 336 с.

УДК 004.056

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ЛОЖНЫХ ДАННЫХ В УЗКОПОЛОСНЫХ СЕТЯХ NB-PLC ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ И ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Гараев И.Р., студент;
ORCID: 0009-0007-9017-9508;
Шарипов Р.Р., научный руководитель, доцент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-4957-8132

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METHODS FOR PROTECTION AGAINST FALSE DATA INJECTION IN NARROWBAND NB-PLC NETWORKS FOR LIGHTING CONTROL AND ENERGY DISTRIBUTION

Garaev I.R., Student;
ORCID: 0009-0007-9017-9508;
Sharipov R.R., Academic Supervisor, Associate Professor of the Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-4957-8132

Аннотация

В работе исследованы уязвимости узкополосных PLC-сетей (NB-PLC) стандартов G3-PLC и PRIME к атакам внедрения ложных данных (FDI). Рассмотрена математическая модель компрометации оценивания состояния, позволяющая обходить традиционные системы обнаружения на основе невязки. Предложен гибридный метод защиты, объединяющий аутентификацию по физическим характеристикам канала (CSI) и детектирование аномалий с использованием нейросетевого автоэнкодера. Метод реализован на стороне концентратора, что исключает модернизацию конечных приборов учета и контроллеров освещения. В среде имитационного моделирования OMNeT++ показано, что предложенный подход обеспечивает F1-меру = 0,88, что в 7,3 раза превышает эффективность классического детектора невязки (F1 = 0,12).

Ключевые слова: NB-PLC, внедрение ложных данных, FDI-атака, кибербезопасность, Smart Grid, управление освещением, автоэнкодер

Abstract

This paper investigates the vulnerabilities of narrowband PLC networks (NB-PLC) of G3-PLC and PRIME standards to False Data Injection (FDI) attacks. A mathematical model of state estimation compromise that bypasses traditional residual-based detection systems is considered. A hybrid

protection method is proposed that combines authentication based on Channel Specific Information (CSI) and anomaly detection using a neural network autoencoder. The method is implemented on the concentrator side, which eliminates the need to upgrade the final metering devices and lighting controllers. Simulation results in OMNeT++ environment demonstrate that the proposed approach achieves an F1-score of 0.88, which is 7.3 times higher than the classical residual detector (F1 = 0.12).

Keywords: NB-PLC, False Data Injection, FDI attack, cybersecurity, Smart Grid, lighting control, autoencoder

Введение

Внедрение технологий Smart Grid и концепций «умного города» предполагает активное использование сетей передачи данных для мониторинга и управления распределенными энергообъектами. Одним из наиболее экономичных решений для организации каналов связи в сегменте «устройство – концентратор» является узкополосная передача по линиям электропередачи. Стандарты G3-PLC (ITU-T G.9903) и PRIME (ITU-T G.9904) широко применяются как в автоматизированных системах учета (AMI), так и в системах централизованного управления уличным освещением [1].

Однако среда PLC – это электрическая сеть до 0,4, которая изначально не была предназначена для передачи данных. Известно, что сеть характеризуется высоким уровнем помех, затуханием и, что важнее с точки зрения безопасности, является разделяемой средой [2]. Физический доступ к линии позволяет злоумышленнику подключаться к сети и перехватывать или модифицировать цифровой трафик. При этом классические методы обнаружения аномалий, применяемые в SCADA-системах, оказываются неэффективными против специально сконструированных атак типа внедрения ложных данных (FDI) [3].

Цель работы – исследовать механизмы реализации FDI-атак в узкополосных PLC-сетях и предложить метод защиты, учитывающий как физические ограничения канала, так и ограниченные вычислительные ресурсы конечных приборов учета и контроллеров освещения.

Специфика архитектуры NB-PLC и уязвимости канального уровня

Сети G3-PLC и PRIME строятся на базе OFDM-модуляции. Для повышения помехоустойчивости используются сверточное кодирование, перемежение и механизмы автоматического запроса повторной передачи (ARQ). Защита данных на канальном уровне реализуется с помощью симметричного шифра AES-128 [4].

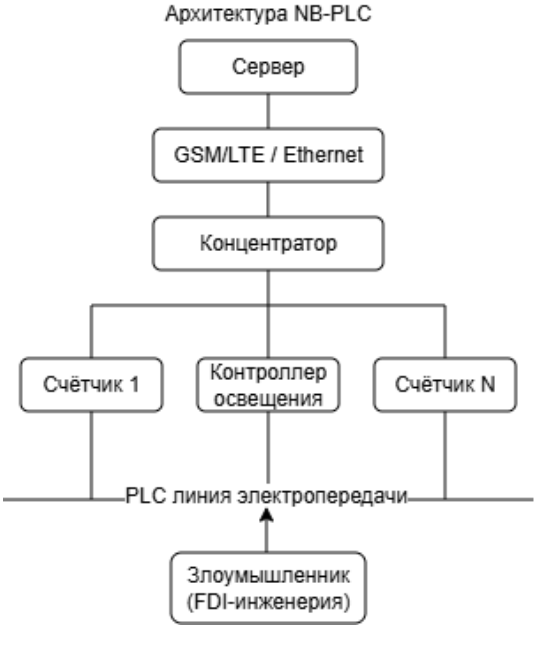


Рис. 1. Архитектура NB-PLC и место возникновения FDI-атаки

Основная проблема заключается в том, что ключевая информация хранится непосредственно на конечных узлах, таких как счетчики, драйверы светильников или концентраторы. Эти устройства часто размещаются в неохраняемых местах, например, в подвалах, этажных щитках, опорах освещения. При физическом доступе злоумышленник может извлечь ключи (в том числе с помощью атак по сторонним каналам) и получить полный контроль над сессией связи. Схема архитектуры сети и точка внедрения атакующего приведены на рис. 1.

Получив легитимный ключ, атакующий способен формировать и внедрять в сеть поддельные пакеты. Для систем освещения это означает возможность несанкционированного отключения сегментов или изменения режимов работы. Для систем учета – искажение показаний, ведущее к финансовым потерям. При этом, если злоумышленник имеет доступ к топологии сети, он может строить атаки, не обнаруживаемые стандартными механизмами контроля целостности.

Математическая модель FDI-атаки

В SCADA-системах для контроля достоверности измерений используется процедура оценивания состояния (State Estimation). В линеаризованной постановке связь вектора измерений z (мощности, токи, напряжения) и вектора состояния x (фазовые углы узлов) описывается уравнением [5]:

$$z = Hx + e,$$

где H — матрица Якоби ($m \times n$), e – вектор ошибок измерений.

Оценка состояния $\hat{x}$ находится методом наименьших квадратов. Невязка $r = \|z - H\hat{x}\|$ служит индикатором наличия плохих данных: если r превышает порог τ, система сигнализирует об аномалии.

Злоумышленник, знающий H, может сформировать вектор атаки:

$$a = Hc,$$

где c – произвольный вектор, отражающий желаемое смещение состояния. Тогда скомпрометированные измерения принимают вид:

$$z_a = z + a.$$

Оценка состояния при этом смещается на величину c, но невязка остается неизменной:

$$\|z_a - H(\hat{x} + c)\| = \|z + Hc - H\hat{x} - Hc\| = \|z - H\hat{x}\| = r\,.$$

Таким образом, если атакующий точно знает топологию сети, классический детектор на основе невязки не срабатывает. В контексте систем учета и управления освещением вектор состояния x интерпретируется как совокупность показаний приборов и дискретных состояний реле, а матрица H отражает радиальную топологию распределительной сети 0,4 кВ. Это делает FDI-атаки особенно опасными для распределенных систем управления [6].

Обзор существующих подходов к защите

На сегодняшний день предложены следующие основные стратегии противодействия. Классификация существующих методов защиты представлена на рис. 2.

Криптографические методы – использование цифровых подписей и сертификатов для каждого пакета. Основной недостаток – вычислительные затраты на асимметричные операции на узлах с низкой производительностью (Cortex-M0/M3, тактовая частота до 50 МГц). Для систем управления освещением, где допустимые задержки могут составлять единицы секунд, это критично [7].

Защищенные опорные узлы – установка дополнительных контролируемых измерительных устройств (например, PMU на подстанциях). Это повышает устойчивость, но требует модернизации инфраструктуры и не решает проблему компрометации рядовых счетчиков [8].

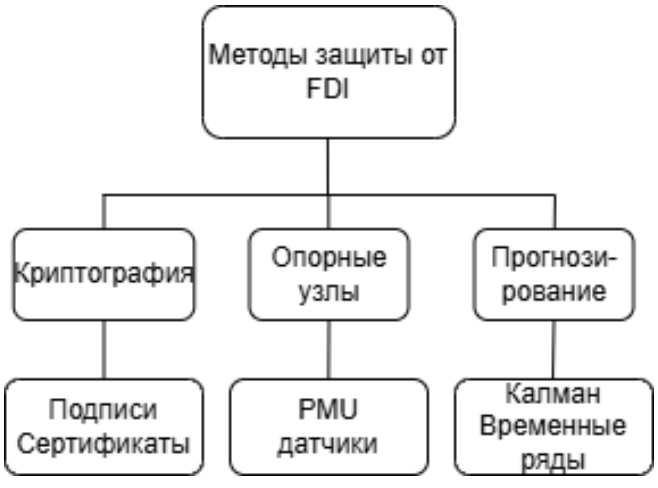


Рис. 2. Классификация существующих методов защиты

Методы прогнозирования – фильтр Калмана и другие алгоритмы, основанные на временных рядах. Дают хорошие результаты на стационарных нагрузках, но дают много ложных срабатываний при динамическом потреблении, характерном для систем адаптивного освещения [9].

Таким образом, существует потребность в разработке новых методов защиты, которые не требовали бы модернизации конечных узлов и не увеличивали сетевой трафик, но при этом эффективно обнаруживали FDI даже при скомпрометированных ключах.

Предлагаемый гибридный метод защиты

После анализа известных методов защиты данных предлагается метод, состоящий из двух последовательных этапов. При этом основная нагрузка ложится на концентратор (шлюз), что позволяет не модифицировать конечные счетчики и контроллеры. Структурная схема гибридного метода защиты от FDI-атак в NB-PLC сети представлена на рис. 3.

Аутентификация на основе информации о состоянии канала (CSI)

Каждый тракт «концентратор – конечный узел» в электрической сети имеет уникальную частотную характеристику, определяемую длиной кабеля, наличием ответвлений, типом соединений. Эти параметры формируют так называемый CSI-профиль (Channel State Information), который является идентификатором устройства [10].

Концентратор в процессе штатной работы запоминает CSI для каждого узла. При попытке подмены узла (spoofing) – когда атакующий с другого конца линии пытается выдать себя за легитимный прибор – CSI-профиль будет отличаться, и концентратор отклонит пакет до его расшифровки. При этом данный метод работает только на этапе установления соединения и не требует вычислений на стороне счетчика.

Детектирование аномалий с использованием автоэнкодера

Если атакующий физически подключился непосредственно к линии легитимного устройства (CSI совпадает), подключается второй уровень.

На концентраторе развертывается нейросетевой автоэнкодер, обученный на исторических данных нормального режима работы. Архитектура автоэнкодера включает входной слой размерности 4, скрытый слой размерности 2 и выходной слой размерности 4. В качестве функции активации используется ReLU, функция потерь – среднеквадратичная ошибка (MSE). Входной вектор признаков для каждого пакета включает:

– величину активной мощности в текущем сеансе;
– статус реле освещения (вкл/выкл);
– уровень сигнала (SNR);
– количество повторных передач (retries).

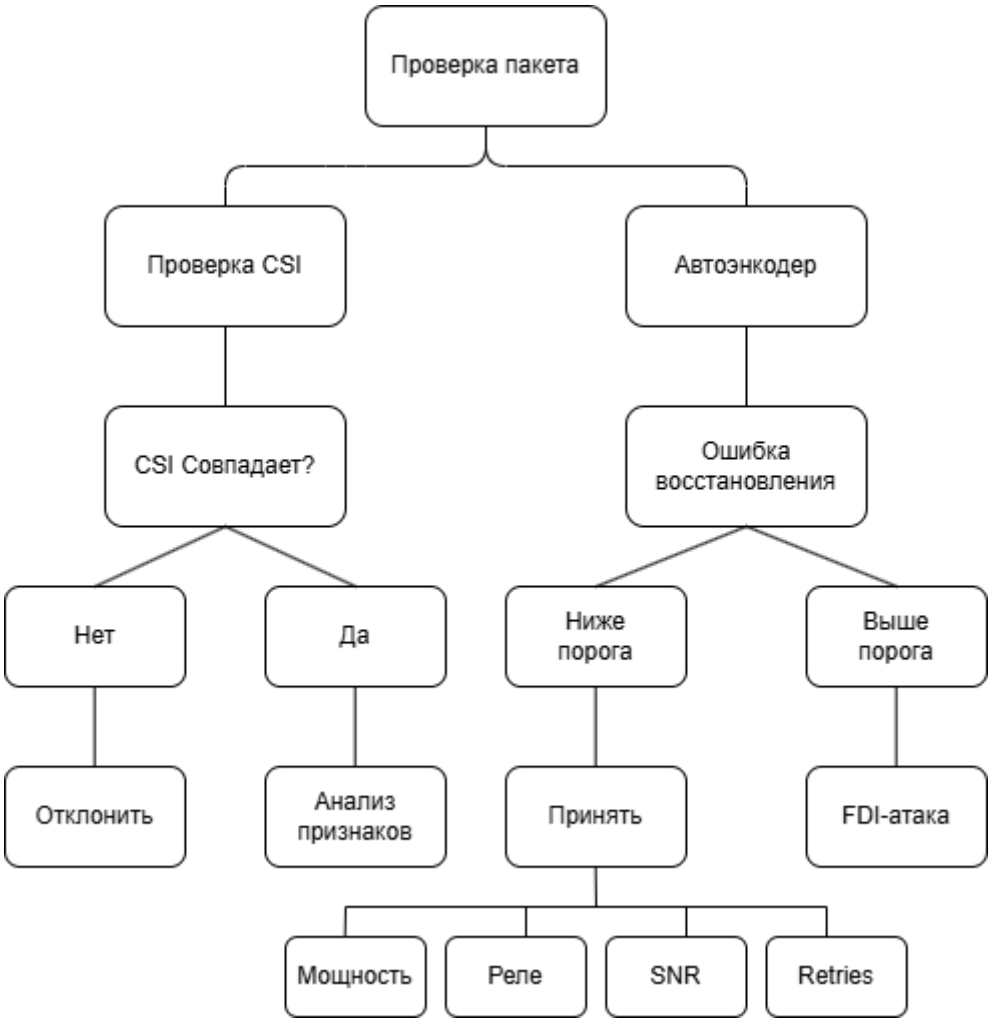


Рис. 3. Структурная схема гибридного метода защиты от FDI-атак в NB-PLC сети

Автоэнкодер сжимает входной вектор до скрытого представления меньшей размерности, а затем восстанавливает его. В штатном режиме ошибка восстановления минимальна. При внедрении ложных данных нарушаются статистические корреляции между признаками, и ошибка восстановления резко возрастает.

Обучение автоэнкодера проводится на концентраторе (обладает достаточными вычислительными ресурсами) и не затрагивает конечные устройства.

Результаты имитационного моделирования

Для проверки работоспособности метода выполнено моделирование в среде OMNeT++ версии 6.0 с использованием библиотеки INET и собственной реализации G3-PLC MAC-уровня. Модель канала учитывала затухание 30–50 дБ на частотах до 500 кГц и аддитивный белый гауссовский шум с отношением сигнал/шум (SNR) в диапазоне 10–25 дБ. Конфигурация сети: один концентратор и 100 конечных узлов, размещенных вдоль линии 0,4 кВ согласно радиальной топологии.

Для обучения автоэнкодера использованы синтезированные временные ряды, имитирующие суточный график нагрузки жилого микрорайона с пиковыми значениями в утренние и вечерние часы и спадом в ночное время. Объем обучающей выборки составил 500 000 пакетов, соответствующих 30 суткам штатной работы сети. Валидационная выборка – 50 000 пакетов.

Сценарий атаки: злоумышленник компрометирует ключи AES на 5 узлах и в течение 30 минут инжектирует ложные данные об энергопотреблении и команды управления реле.

Атаки конструируются с учетом матрицы H (топология известна атакующему). При моделировании рассматривается наихудший сценарий, при котором атакующий обладает полной информацией о топологии, что обеспечивает консервативную оценку эффективности разработанного метода. Сравнительная оценка эффективности приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение методов обнаружения FDI-атак

Метод	Precision	Recall	F1-Score
Классический BDD (невязка)	0,14	0,11	0,12
CSI-аутентификация (изолированно)	0,63	0,58	0,60
Автоэнкодер (изолированно)	0,72	0,69	0,70
Гибридный метод (CSI + автоэнкодер)	0,89	0,87	0,88

Примечание: значения получены усреднением по 50 прогонам моделирования с различными реализациями шума в канале. Классический BDD показывает низкую эффективность, поскольку вектор атаки строится с учетом топологии. Изолированное применение CSI отсекает попытки спуфинга, но не обнаруживает атаки с физически подключенного узла. Автоэнкодер самостоятельно выявляет около 70% внедрения. Гибридное применение дает суммарный эффект, доводя F1-меру до 0,88.

Заключение

В работе решена задача повышения достоверности передачи данных в сегменте «устройство – концентратор» узкополосных PLC-сетей в условиях физической доступности линии связи для злоумышленника.

Основные научные и практические результаты:

1. Обоснована несостоятельность классических методов оценивания состояния (на основе невязки) при реализации FDI-атак с известной атакующему матрицей топологии (F1 = 0,12).

2. Предложен и верифицирован гибридный алгоритм защиты, комбинирующий физический отпечаток канала (CSI) для детектирования спуфинга и глубокий автоэнкодер для обнаружения смысловых аномалий в управляющих командах и показаниях учета. Вычислительная сложность алгоритма позволяет развертывать его на штатных концентраторах без замены конечного оборудования.

3. Путем имитационного моделирования установлено, что предложенный гибридный подход обеспечивает точность обнаружения (Precision = 0,89) и полноту (Recall = 0,87), достигая интегральной метрики F1 = 0,88, что в 7,3 раза превышает эффективность базового детектора.

Перспективы развития работы связаны с исследованием робастности нейросетевой модели к состязательным (adversarial) воздействиям, когда вектор атаки генерируется с учетом весов обученного автоэнкодера, а также с верификацией метода на данных, собранных с реально действующего сегмента интеллектуальной системы учета электроэнергии.

Список литературы

1. Голуб, Д. В. Уязвимости протоколов связи в интеллектуальных электроэнергетических системах / Д. В. Голуб, А. В. Комаров // Безопасность информационных технологий. – 2021. – Т. 28, № 2. – С. 45–55.

2. Plamowski S., et al. Methodology for Conducting a Study of the Vulnerability of PLC Control Algorithms to Cyber Attacks // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 135551–135563.

3. Шарипов, Р. Р. Исследования скорости передачи данных в PLC сети в учебной лаборатории / Р. Р. Шарипов, А. Ф. Фатхелисламов // Информационные технологии обеспечения комплексной безопасности в цифровом обществе : Сборник материалов VI Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. – Уфа : Уфимский университет науки и технологий, 2023. – С. 55–60.

4. Олин, Р. А. Управление рисками информационной безопасности при внедрении автономных агентов с искусственным интеллектом / Р. А. Олин, Р. Р. Шарипов, В. В. Бондаренко // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 35–42. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-35-42.

5. Enoiu E.P., et al. A taxonomy of vulnerabilities, attacks, and security solutions in industrial PLCs // CyberSecurity in a DevOps Environment: From Requirements to Monitoring. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. – P. 3–33.

6. Аникин, И. В. Метод количественной оценки уровня ущерба от реализации угроз на корпоративную информационную сеть / И. В. Аникин // Информационные технологии. – 2010. – № 1. – С. 2–6.

7. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28–34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34.

8. Рекомендации по стандартизации Р 50.1.143-2014. Интеллектуальная энергетика. Информационная безопасность автоматизированных систем учета электроэнергии. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 34 с.

9. Maesschalck S., et al. Walking under the ladder logic: PLC-VBS: a PLC control logic vulnerability scanning tool // Computers & Security. – 2023. – Vol. 127. – P. 103116.

10. Имамутдинов, И. И. Утечка данных по сетям электропитания / И. И. Имамутдинов, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования : Материалы международной научно-практической конференции. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 2146–2149.

УДК 004.056

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ И ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ PLC-ТЕХНОЛОГИЙ

Гараев И.Р., студент;
ORCID: 0009-0007-9017-9508;
Шарипов Р.Р., доцент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-4957-8132

ENSURING DATA CONFIDENTIALITY AND INTEGRITY IN SMART ELECTRICITY METERING SYSTEMS BASED ON PLC TECHNOLOGIES

Garaev I.R., Student;
ORCID: 0009-0007-9017-9508;
Sharipov R.R., Associate Professor of the Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-4957-8132

Аннотация

В статье проанализированы уязвимости систем интеллектуального учета электроэнергии (ИСУЭ) на базе PLC-связи, влияющие на конфиденциальность и целостность данных. Рас-

смотрены основные сценарии атак на сегмент передачи данных между счетчиком и концентратором. Предложены подходы к применению симметричного шифрования и механизмов аутентификации с учетом низкой пропускной способности PLC-каналов и вычислительных ограничений конечных приборов учета.

Ключевые слова: интеллектуальный учет электроэнергии, Smart Metering, AMI, PLC-технологии, информационная безопасность, конфиденциальность, целостность, шифрование

Abstract

The article analyzes vulnerabilities of intelligent electricity metering systems (IEMS) based on PLC communication that affect data confidentiality and integrity. The main attack scenarios targeting the data transmission segment between the meter and the data concentrator are examined. Approaches to the application of symmetric encryption and authentication mechanisms are proposed, taking into account the low bandwidth of PLC channels and the computational constraints of end metering devices.

Keywords: intelligent electricity metering, Smart Metering, AMI, PLC technologies, information security, confidentiality, integrity, encryption

Введение

Переход к интеллектуальным энергосетям в России и за рубежом предполагает повсеместную замену классических индукционных счетчиков на цифровые приборы учета с функцией удаленной передачи данных. Такие системы, известные как Advanced Metering Infrastructure (AMI), позволяют энергокомпаниям собирать показания в режиме реального времени, дистанционно ограничивать нагрузку и оперативно реагировать на нештатные ситуации [1].

Известно, что одним из наиболее экономичных способов организации связи в сегменте «счетчик – концентратор» является технология Power Line Communication (PLC), передающие данные по проводам электроснабжения [2]. Электрическая сеть изначально ориентирована на передачу энергии, а не цифровые данные, поскольку в ней различные сетевые помехи и нестабильное волновое сопротивление. Помимо технических проблем, в такой среде принципиально невозможно физически изолировать трафик – доступ к шине есть у любого абонента в пределах одной фазовой линии. В этих условиях защита передаваемых данных становится первоочередной задачей. В работе рассматриваются реальные угрозы конфиденциальности и целостности для PLC-сегмента AMI, а также способы их нейтрализации с учетом аппаратных ограничений счетчиков.

Архитектура AMI на базе PLC и уязвимости среды передачи

Известно, что ИСУЭ строятся по иерархической схеме [3]. На нижнем уровне расположены интеллектуальные счетчики электроэнергии, установленные у потребителей. Они связаны с концентраторами данных (УСПД), смонтированными на трансформаторных подстанциях, по протоколам узкополосной PLC – преимущественно G3-PLC или PRIME технологии. Концентраторы, в свою очередь, передают агрегированную информацию на верхний уровень (серверы ИВК) по высокоскоростным каналам – GSM/LTE, Ethernet или оптоволокну (рис. 1).

Слабые места такой архитектуры лежат именно в нижнем сегменте. PLC-среда является разделяемой: в пределах одной фазы все приборы получают общий доступ к трафику. Злоумышленнику достаточно подключить к розетке PLC-модем с аналогичным стеком протоколов, чтобы получить доступ к транзакциям. При этом физическая защита распределительных щитков и этажных электрощитов на практике часто отсутствует. Дополнительная проблема – отсутствие встроенных средств криптографии в старых версиях счетчиков и высокая вероятность использования устаревших протоколов без шифрования на начальных этапах внедрения AMI.

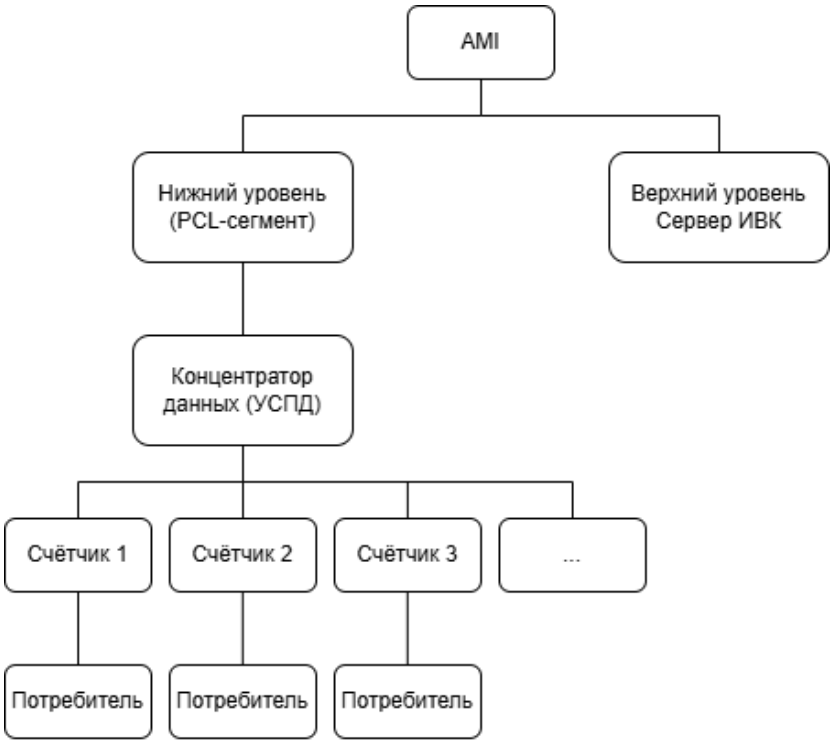


Рис. 1. Архитектура системы интеллектуального учета электроэнергии (AMI) на базе PLC и основные направления передачи данных

Угрозы конфиденциальности и целостности данных

Утечка данных о потреблении раскрывает шаблоны поведения жильцов. Еще более опасны атаки на целостность в виде подмены показаний что приводит к искажению балансов электроэнергии и/или в виде ложных команд для отключения реле, например, с целью обесточиванию социально значимых объектов [4].

Нарушение конфиденциальности. Основной вектор атаки – это пассивный перехват трафика PLC. Данные о потреблении с дискретностью 15–30 мин. позволяют построить профиль нагрузки и достоверно определить периоды отсутствия людей в доме. Такой анализ не требует взлома шифрования, если данные передаются открыто. Даже при использовании шифрования сохраняется уязвимость к анализу метаданных – по длине и частоте пакетов можно идентифицировать управляющие команды [5].

Нарушение целостности. Активные атаки здесь многообразны. К примеру. инжекция ложных данных дает возможность занижать реальное потребление объектов. Возможна подмена команд управления атакой по середине, когда злоумышленник перехватывает пакет от диспетчерского центра к счетчику и меняет команду управления. Replay-атаки – перехваченные легитимные команды повторно передаются позже, нарушая хронологию событий, если в протоколе не применяются счетчики кадров или временные метки.

Обеспечение конфиденциальности при помощи криптографии

Для защиты от перехвата применимы в основном криптографические методы. Однако стандартные асимметричные системы для постоянного шифрования потока не подходят ввиду того что у большинства счетчиков пропускная способность не превышает 100 кбит/с.

Поэтому в отраслевых спецификациях (DLMS/COSEM, СПОДЭС) фиксирован симметричный блочный шифр AES. Практически удобен режим AES-GCM, который одновременно выполняет шифрование и добавляет аутентификационную метку [6].

Главная сложность не реализация алгоритма, а управление ключами. Каждый счетчик в сети должен иметь два типа ключей:

– уникальный (Unicast) – для сеансов с концентратором;

– широковещательный (Broadcast) – для приема общих команд, например, изменения тарифного расписания.

Инициализация ключей выполняется по защищенному каналу на этапе монтажа счетчика (инъекция ключей через оптический порт) либо с применением асимметричной криптографии при первом подключении, когда счетчик подписывает свой запрос закрытым ключом, встроенным в заводской сертификат. После регистрации сессия переключается на быстрый симметричный режим [6].

Обеспечение целостности и аутентификации

Контроль неизменности данных в AMI обеспечивается тремя взаимодополняющими механизмами (рис. 2) [7]:

– коды аутентификации сообщений (MAC). Для каждого пакета вычисляется имитовставка (CMAC на базе AES). Принимающая сторона пересчитывает код и сравнивает с переданным;

– электронная подпись (ЭЦП) – для особо критичных транзакций, таких как обновление прошивки счетчика;

– счетчики кадров (Frame Counter). В каждый пакет включается монотонно возрастающее число. Концентратор отбрасывает все пакеты с номером, меньшим или равным последнему принятому. Это полностью блокирует Replay-атаки без введения синхронизации времени.

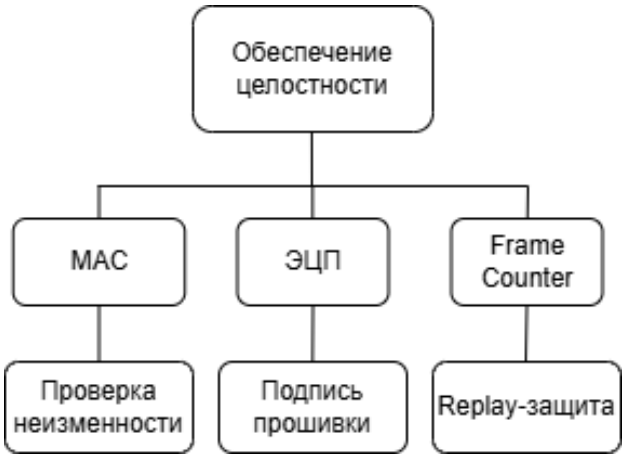


Рис. 2. Механизмы обеспечения целостности

Совместное применение MAC и счетчика кадров признано минимально достаточным набором для защиты управляющих команд в большинстве национальных стандартов.

Практические ограничения и пути их решения

На реальных объектах внедрение полного набора криптографических защит упирается в два ограничения:

– пропускная способность. Добавление заголовков безопасности увеличивает размер кадра на 20–30%. В условиях зашумленной линии это ведет к росту числа повторных передач (retries) и, как следствие, к снижению эффективной скорости обмена вплоть до 5–10 кбит/с [8];

– вычислительные ресурсы. Например, программная реализация AES-256 на микроконтроллере Cortex-M0 занимает до 80% процессорного времени в пиковые моменты опроса, что приводит к пропуску пакетов [8].

На практике эту проблему предлагается решить двумя способами:

– внедрением аппаратных криптоускорителей (crypto-engine) встроенную непосредственно в микросхему PLC-модема;

– применением отдельных защищенных криптомодулей, соответствующих требованиям ФСТЭК России и сертифицированных по классу КС3 для работы в составе доверенной среды.

А также в Российской Федерации предложенные решения должны учитывать требования Приказа ФСТЭК № 17 «Об утверждении требований к средствам криптографической защиты» и 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры» применительно к объектам электроэнергетики [9]. Однако массовое внедрение таких модулей сдерживается их стоимостью и необходимостью замены всех счетчиков, что является большой финансовой нагрузкой для поставщиков электроэнергии.

Заключение

PLC-каналы в системах интеллектуального учета остаются самым уязвимым звеном с точки зрения перехвата и модификации данных. В работе показано, что использование симметричного шифрования AES-GCM в паре с аутентификацией MAC и счетчиками кадров позволяет нейтрализовать большинство практических угроз, включая инжекцию и повтор команд. При этом критически важным этапом является грамотное управление ключами – применение асимметричных схем только на этапе начальной регистрации счетчиков.

Наиболее перспективным направлением видится переход на счетчики со встроенными аппаратными криптомодулями, позволяющими сохранить производительность канала даже на зашумленных линиях 0,4 кВ. Дальнейшие исследования должны быть направлены адаптацию данных устройств с учётом различных воздействий на электрическую сеть.

Список литературы

1. Шарипов, Р. Р. Исследования скорости передачи данных в PLC сети в учебной лаборатории / Р. Р. Шарипов, А. Ф. Фатхелисламов // Информационные технологии обеспечения комплексной безопасности в цифровом обществе : Сборник материалов VI Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием, Уфа, 19–20 мая 2023 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2023. – С. 55-60.

2. NIST IR 7628. Guidelines for Smart Grid Cybersecurity. – National Institute of Standards and Technology, 2023.

3. ГОСТ Р 56545-2015. Защита информации. Уязвимости информационных систем. Правила описания уязвимостей.

4. Олин, Р. А. Управление рисками информационной безопасности при внедрении автономных агентов с искусственным интеллектом / Р. А. Олин, Р. Р. Шарипов, В. В. Бондаренко // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 35-42. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-35-42.

5. Smith, J. Security and Privacy in Advanced Metering Infrastructure // IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 24, no. 3, pp. 1450-1475, 2022.

6. Имамутдинов, И. И. Утечка данных по сетям электропитания / И. И. Имамутдинов, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 2146-2149.

7. Рекомендации по стандартизации Р 50.1.143-2014. Интеллектуальная энергетика. Информационная безопасность автоматизированных систем учета электроэнергии.

8. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28-34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34.

9. Аникин, И. В. Метод количественной оценки уровня ущерба от реализации угроз на корпоративную информационную сеть / И. В. Аникин // Информационные технологии. – 2010. – № 1. – С. 2-6.

УДК 332.1

КИБЕРРИСКИ В ЛОГИСТИКЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ КООПЕРАЦИИ: МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ

Гареева Г.И., аспирант ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан», директор по планированию и операционной логистике ООО «Ульяновский автомобильный завод», г. Ульяновск, Россия;
ORCID: 0009-0006-5737-4232;
E-mail: goulnaragi@mail.ru

CYBER RISKS IN INDUSTRIAL COOPERATION LOGISTICS: IDENTIFICATION METHODS AND MANAGEMENT METHODS

Gareeva G.I., Aspirant of Academy of Sciences of Tatarstan Republic, Director of planning and operational logistics, Ulyanovsk Automobile plant LLC, Ulyanovsk, Russia;
ORCID: 0009-0006-5737-4232;
E-mail: goulnaragi@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена киберрискам в логистике промышленной кооперации, источником которого являются высокая степень цифровизации цепочек поставок, а также взаимозависимость участников. При данной взаимозависимости, сбои в информационных системах логистических операторов, поставщиков и подрядчиков, способны запускать каскадные нарушения с последующими финансовыми, операционными и репутационными потерями.

Отдельно рассмотрены основные киберугрозы для логистической отрасли. В поле анализа – атаки на цепочки поставок, программы-вымогатели, кража данных, DDoS-атаки, уязвимости IoT-устройств и фишинг. Важный акцент сделан на методах идентификации киберрисков: анализе бизнес-процессов и ИТ-инфраструктуры, инвентаризации цифровых активов, оценке уязвимостей, экспертных методах, анализе рисков контрагентов.

Систематизация затрагивает и способы управления киберрисками. Основа здесь – технические, организационные и образовательные меры, а также принципы defense in depth и Zero Trust. Эффективное управление киберрисками в логистике промышленной кооперации возможно только при комплексном, непрерывном и координированном подходе со стороны всех участников цепочки поставок.

Цель данного исследования заключается в систематизации подходов к идентификации киберрисков и обосновании способов управления ими в контексте логистики промышленной кооперации. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: анализ основных видов киберугроз, характерных для логистической отрасли; изучение методов выявления уязвимостей и оценки рисков с учетом специфики взаимодействия между предприятиями; а также обобщение технических, организационных и стратегических мер противодействия выявленным угрозам.

Объектом исследования выступают киберриски в логистике промышленной кооперации.

Предметом исследования являются методы идентификации и способы управления киберрисками в цепочках поставок промышленной кооперации.

Ключевые слова: киберриски, управление рисками, кибербезопасность, цепочки поставок, логистика, промышленная кооперация, идентификация рисков

Abstract

The article deals with cyber risks in industrial cooperation logistics. Their source is the high degree of digitalization of supply chains, as well as the interdependence of participants. Given this

interdependence, failures in the information systems of logistics operators, suppliers and contractors can trigger cascading violations with subsequent financial, operational and reputational losses.

The main cyber threats for the logistics industry are considered separately. The analysis field includes attacks on supply chains, ransomware, data theft, DDoS attacks, IoT device vulnerabilities and phishing. An important emphasis is placed on methods of identifying cyber risks: analysis of business processes and IT infrastructure, inventory of digital assets, vulnerability assessment, expert methods, analysis of counterparty risks.

Systematization also affects how cyber risks are managed. The basis here is technical, organizational and educational measures, as well as the principles of defense in depth and Zero Trust. Effective management of cyber risks in industrial cooperation logistics is possible only with an integrated, continuous and coordinated approach from all participants in the supply chain.

The aim of the research is to systematize approaches to cyber risk identification and substantiate management methods in industrial cooperation logistics. The study addresses the analysis of key cyber threats in the logistics industry, vulnerability identification and risk assessment methods considering inter-enterprise interaction specifics, as well as generalization of technical, organizational and strategic countermeasures.

The object of the research is cyber risks in industrial cooperation logistics.

The subject is methods of their identification and management in supply chains of industrial cooperation.

Keywords: cyber risk, risk management, cybersecurity, supply chains, logistics, industrial cooperation, risk identification

Введение

Современная логистика промышленной кооперации представляет собой сложную распределенную систему, функционирующую в условиях высокой степени цифровизации. Интеграция информационных систем, использование систем управления заказами (OMS), транспортировкой (TMS) и складскими процессами (WMS), а также внедрение интернета вещей (IoT) и облачных сервисов, обеспечивают беспрецедентный уровень прозрачности и эффективности цепочек поставок. Однако, в научной литературе неоднократно отмечалось, что технологический прогресс имеет и обратную сторону: расширение поверхности атак, рост количества подключенных устройств и постоянный обмен данными создают благоприятную среду для злоумышленников.

Актуальность настоящей работы обусловлена тем, что цифровая взаимозависимость участников промышленной кооперации приводит к возникновению системных киберрисков. Сбои в цифровой инфраструктуре одного из контрагентов – будь то поставщик, логистический оператор или подрядчик – способны запускать каскадные нарушения, влекущие за собой не только операционные простои, но и существенные финансовые и репутационные потери для всей цепи поставок. В этих условиях обеспечение кибербезопасности перестает быть вспомогательной ИТ-функцией и трансформируется в одну из приоритетных управленческих задач.

Научная новизна исследования

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Даны предложения по уточнению понятия каскадного эффекта киберрисков применительно к логистике промышленной кооперации, заключающегося в том, что сбой в информационной системе одного участника цепочки поставок способен инициировать цепную реакцию нарушений у всех контрагентов.

Разработаны предложения по систематизации методов идентификации киберрисков (анализ бизнес-процессов и ИТ-инфраструктуры, инвентаризация цифровых активов, оценка уязвимостей, экспертные методы, анализ рисков контрагентов) с учетом специфики промышленной кооперации, что позволяет дифференцированно подходить к оценке угроз для каждого участника цепочки поставок.

Даны предложения по аргументации необходимости комплексного применения технических, организационных и образовательных мер управления киберрисками в логистике промышленной кооперации на основе принципов defense in depth и Zero Trust, адаптированных к условиям взаимодействия множества независимых предприятий.

Теоретическая значимость работы определяется структурированием накопленных знаний в области кибербезопасности логистических цепочек, а практическая – возможностью применения предложенных подходов для повышения устойчивости цифровой инфраструктуры предприятий, участвующих в промышленной кооперации.

1. Теоретические аспекты киберрисков в логистике промышленной кооперации

Проблематика кибербезопасности в логистике и управлении цепочками поставок (Supply Chain Management, SCM) в последние годы привлекает все большее внимание исследователей. Это обусловлено стремительной цифровизацией логистических процессов, ростом числа подключенных устройств и усилением взаимозависимости участников цепочек поставок. В настоящем разделе систематизированы основные направления научных изысканий в данной области.

Отдельное направление составляют исследования киберрисков в высокоавтоматизированных складских системах (Highly Automated Warehouse Systems, HAWS). Rodríguez-García, Kembro и их соавторы провели интегративный обзор, в котором выделили пять типов технологических сбоев: кибератаки, саботаж технологий, технические отказы, перебои питания и сетей, а также проблемы взаимодействия человека и машины. Ими идентифицировано 48 уязвимостей, сгруппированных в семь категорий. Авторы отмечают, что киберриски доминируют в современном ландшафте уязвимостей HAWS и могут приводить к серьезным операционным и финансовым потерям [5].

Friday et al. [6] в своем исследовании провели сравнительный анализ традиционных рисков цепочек поставок и киберрисков. Авторами выделены следующие ключевые отличия: традиционные риски, как правило, решаются на уровне отдельной фирмы, тогда как киберриски требуют цепочечного подхода; традиционные риски относительно предсказуемы, тогда как киберугрозы быстро эволюционируют в режиме реального времени; источники традиционных рисков часто быстро идентифицируются, тогда как последствия кибератак могут оставаться нераспознанными в течение нескольких дней или недель после атаки.

Среди российских ученых следует отметить работу Руденко Н.А. и Березкина Ф.Е. [7], которые исследовали проблемы обеспечения кибербезопасности глобальных цепочек поставок, включая риски третьих сторон и атаки на цепочку поставок. Их статья «Управление киберрисками в экосистеме цифровых цепочек поставок: уязвимости, последствия и стратегии повышения защищенности» посвящена адаптации подходов к управлению рисками применительно к специфике промышленной кооперации.

Анализ научной литературы показывает, что проблематика киберрисков в логистике промышленной кооперации находится в стадии активного развития. Исследователи сходятся во мнении, что традиционные подходы к управлению рисками требуют адаптации для учета специфики киберугроз: их динамичности, каскадного эффекта и высокой степени взаимозависимости участников цепочек поставок. Вместе с тем, сохраняются значительные пробелы, требующие дальнейшего изучения: разработка эмпирически обоснованных моделей управления, интеграция механизмов контроля доступа и аутентификации в существующие системы, а также адаптация подходов к специфике промышленной кооперации, где ответственность за безопасность распределена между множеством независимых предприятий. Данное обстоятельство определило цель и задачи настоящего исследования.

Особая значимость киберугроз проявляется именно в логистических цепочках промышленной кооперации, поскольку такие цепочки охватывают множество взаимодействующих предприятий и критичность своевременной доставки. Управление киберрисками в логи-

стике промышленной кооперации требует системного подхода: тщательной идентификации угроз и продуманных стратегий защиты.

Логистические риски являются потенциальными событиями или обстоятельствами, которые способны нарушить нормальное функционирование цепи поставок. Их результатом становятся финансовые или операционные потери. В отличие от традиционных бизнес-рисков, логистические риски дают каскадный эффект – сбой в одном звене запускает цепную реакцию по всей системе поставок.

Необходимо подчеркнуть, что приоритетность киберзащиты в логистике определяется не столько самими ИТ-рисками, сколько критической зависимостью отрасли от непрерывности цифровых процессов. Логистические предприятия обрабатывают массивы чувствительных данных, включая сведения о клиентах, маршрутах, грузах и внутренних операциях, что превращает их в привлекательную цель для киберпреступников. В этой связи конфиденциальная информация становится инструментом шантажа, рычагом давления на руководство компании или средством целенаправленной остановки операционной деятельности.

Кибербезопасность в логистике охватывает совокупность технологических и организационных решений. Их задача – защита данных, цифровой среды, инфраструктурных элементов логистических операторов от атак, причем значимость такой защиты растет по мере цифровой трансформации отрасли. В условиях цифровизации логистических систем наблюдается устойчивый рост зависимости бизнес-процессов от информационных технологий, что, по мнению ряда авторов, приводит к увеличению уязвимости цепочек поставок [1].

Цифровая трансформация логистики сопряжена с усилением рисков. Инструменты управления заказами (OMS), транспортом (TMS) и складскими операциями (WMS) обеспечивают высокую точность координации, но при этом расширяют уязвимую поверхность информационной инфраструктуры. Рост числа подключенных IoT-устройств и постоянный обмен данными открывают перед злоумышленниками дополнительные возможности для реализации атак, включая хищение информации, несанкционированный доступ, взломы и шифрование данных с последующим вымогательством.

В этом и состоит ключевое противоречие современной логистики. Технологическая интеграция ускоряет процессы, делает их прозрачнее, но параллельно усиливает зависимость компаний от устойчивости информационных систем. Защита цифровой инфраструктуры для логистических предприятий фиксируется уже не как вспомогательная функция. Речь идет об одной из базовых управленческих задач. Основные киберугрозы для логистической отрасли представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные киберугрозы для логистической отрасли

Угроза	Содержание угрозы	Возможные последствия для логистической отрасли
Кибератаки на цепочки поставок	Вмешательство в цифровые системы поставщиков, перевозчиков и партнеров с целью нарушения обмена данными и бизнес-процессов	Сбои в поставках, нарушение сроков доставки, потери грузов, снижение надежности логистической сети
Атаки программ-вымогателей (ransomware)	Шифрование корпоративных данных и блокировка доступа к информационным системам с последующим требованием выкупа	Остановка операционной деятельности, финансовые потери, простой транспорта и складов, риск утраты данных

Окончание табл. 1

Угроза	Содержание угрозы	Возможные последствия для логистической отрасли
Кража данных	Хищение конфиденциальной информации о клиентах, контрагентах, маршрутах доставки и внутренних процессах компании	Утечка коммерческой информации, репутационный ущерб, снижение доверия клиентов и партнеров, риск мошенничества
Саботаж инфраструктуры	Выведение из строя транспортных систем, складского оборудования, навигационных и информационных платформ посредством кибератак	Нарушение работы логистической инфраструктуры, задержки перевозок, рост издержек, угроза безопасности грузов и персонала

Стабильность цепочек поставок прямо зависит от надежности защиты информационных систем в логистике. Такая защита поддерживает не только техническую устойчивость – она снижает вероятность финансовых потерь, ограничивает репутационный ущерб и сохраняет непрерывность операционной деятельности. Для логистических компаний безопасность цифровой среды в этих условиях фиксируется не как дополнительная мера, а как практическая необходимость.

Основные угрозы и риски для логистической кибербезопасности представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные угрозы и риски для логистической кибербезопасности

Вид киберугрозы	Характеристика угрозы	Основные риски для логистических компаний	Возможные последствия
Программы-вымогатели (Ransomware)	Вредоносное программное обеспечение, шифрующее данные компании с последующим требованием выкупа за их восстановление	Блокировка доступа к данным и цифровым системам, остановка ключевых бизнес-процессов	Срыв цепочек поставок, простой транспорта и складов, значительные финансовые убытки
Атаки на IoT-устройства	Использование уязвимостей устройств Интернета вещей, применяемых для мониторинга грузов, транспорта и оборудования	Несанкционированный доступ к системам управления, нарушение контроля за логистическими операциями	Сбои в отслеживании грузов, потеря контроля над оборудованием, нарушение безопасности инфраструктуры
Кража данных и утечки информации	Хищение конфиденциальной информации о клиентах, контрагентах, маршрутах и внутренних процессах компании	Утрата коммерчески важной информации, нарушение конфиденциальности, риск мошенничества	Репутационные потери, снижение доверия партнеров и клиентов, финансовый ущерб
DDoS-атаки	Перегрузка серверов и цифровых платформ большим числом запросов с целью временного вывода их из строя	Недоступность онлайн-сервисов, остановка систем управления заказами и транспортом	Парализация операционной деятельности, задержки в обработке заказов и доставке грузов
Фишинг и социальная инженерия	Использование обманных сообщений, писем и сайтов для получения учетных данных сотрудников	Компрометация корпоративных аккаунтов, проникновение во внутреннюю сеть компании	Несанкционированный доступ к данным, нарушение работы систем, возможность дальнейших кибератак

2. Методические подходы к идентификации киберрисков

Настоящее исследование базируется на системном подходе к анализу киберрисков в логистике промышленной кооперации. Методологическую основу работы составляют общенаучные и специальные методы познания, позволившие комплексно рассмотреть проблему идентификации и управления киберугрозами в цепочках поставок.

Теоретическую базу исследования сформировали работы отечественных ученых в области кибербезопасности, управления рисками и логистики [1–4]. Анализ научной литературы позволил выявить ключевые подходы к идентификации киберрисков и систематизировать существующие способы их минимизации применительно к специфике промышленной кооперации.

Эмпирическую основу – открытые данные о киберинцидентах в логистической отрасли, отчеты компаний в сфере информационной безопасности и материалы профильных конференций за 2024–2026 годы. Применение указанных методов в совокупности обеспечило достоверность полученных результатов и обоснованность выводов.

Киберугрозы в логистике становятся более изощренными. Хакеры находят новые способы проникновения в системы, а основные риски концентрируются вокруг человеческого фактора, уязвимых устройств IoT и устаревших систем.

Рассмотрим методы идентификации киберрисков. Идентификация киберрисков является первым этапом в системе управления киберугроз. На этом этапе выявляются потенциальные угрозы и уязвимости, а для промышленной кооперации отдельно учитывается специфика взаимодействия между участниками цепочки поставок [2].

Также методом идентификации киберрисков является анализ бизнес-процессов и ИТ-инфраструктуры, который применяется в первую очередь. Детальное изучение текущих операций показывает, какие системы, например, ERP, WMS, TMS, системы трекинга, критически важны, где находятся точки отказа, какие внешние подключения (VPN, API) используют подрядчики и партнёры.

Следующим методом идентификации кибер-рисков является инвентаризация ИТ-активов. Полный перечень цифровых ресурсов формируется с учетом устаревшего оборудования и облачных сервисов, которые могут стать целью атаки. После этого проводится оценка уязвимостей, то есть проводится анализ технических средств защиты на предмет слабых мест: незакрытых портов, устаревших версий ПО, небезопасных интеграций между системами.

Отдельно рассматривается метод анализ угроз и рисков. Возможные угрозы, такие как: фишинг, DDoS-атаки, вредоносное ПО, атаки на цепочки поставок, систематизируются с последующей оценкой вероятности и потенциального ущерба для каждого участника кооперации. Для такой оценки часто применяются матрицы рисков, где по осям откладываются вероятность и последствия.

Метод опроса и интервьюирования сотрудников фиксируют человеческий фактор. Через них выявляются уязвимости, связанные, например, с фишинговыми атаками через мессенджеры или с общими учётными записями при недостаточном уровне защиты. Параллельно анализируются риски у подрядчиков и партнёров, поскольку атака нередко начинается с одного из участников цепочки поставок, и уровень кибербезопасности всех внешних исполнителей подлежит оценке [3].

Метод использования экспертных оценок и мозгового штурма, также является эффективным при системе управления киберугроз. Специалисты по кибербезопасности привлекаются для разбора сценариев, способных вызвать сбои в логистике.

3. Стратегии и механизмы управления киберрисками

После идентификации киберрисков подбираются способы их минимизации или устранения. Эффективная стратегия строится по принципу defense in depth, то есть в ней сочетаются технические, организационные и образовательные меры.

Технические меры защиты формируют базовый контур. Здесь используются межсетевые экраны (firewalls), системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS), антиви-

русное ПО, шифрование данных при передаче и хранении. Для защиты привилегированного доступа применяются PAM-системы (Privileged Access Management).

Отдельный блок связан с доступом. В этой части используются многофакторная аутентификация (MFA), строгий контроль учётных записей с предоставлением минимально необходимых прав, регулярная смена паролей. Рядом стоит сегментация сети – ИТ-инфраструктура разделяется на отдельные сегменты с ограниченным доступом для разных групп пользователей или подрядчиков.

Существует способ в виде построения плана «Б». На случай полного отказа цифровых систем подготавливаются альтернативные «бумажные» процедуры, например переход на согласование маршрутов по телефону или через электронные таблицы. Параллельно идет обучение и повышение осведомлённости сотрудников через регулярные тренинги по распознаванию фишинговых атак и социальной инженерии.

Проверка мер защиты тоже обязательна. Для этого используются аудит и тестирование на проникновение – периодические проверки безопасности (пентесты) выявляют уязвимости и показывают, насколько действенны уже применяемые механизмы. Отдельно выстраивается управление рисками у подрядчиков: до подключения партнёра к системе проводится оценка его уровня кибербезопасности.

Следующий способ управления киберрисками – архитектура Zero Trust. Здесь действует принцип «никому не доверяй», а доступ открывается только после строгой проверки и аутентификации на каждом этапе. Дополняет эту схему создание центра обработки киберинформации для координации усилий подразделений, мониторинга угроз и оперативного реагирования на инциденты [4].

Рассматривая принципы управления киберрисками в логистике промышленной кооперации необходимо отметить о комплексности. Ни одна мера в отдельности не обеспечивает надёжной защиты, поэтому стратегия строится на сочетании технических, организационных и образовательных мер.

Непрерывность – не менее значимый принцип управления киберрисками в логистике промышленной кооперации. Управление рисками идет как постоянный процесс – с мониторингом, обновлением мер защиты, обучением персонала. Интеграция с бизнес-процессами тоже необходима: меры кибербезопасности встраиваются в общую систему управления рисками предприятия, а не существуют отдельно.

Отдельный принцип управления киберрисками в логистике промышленной кооперации является учёт специфики кооперации. При взаимодействии нескольких предприятий требуется учитывать риски, общие для всей цепочки поставок, а ответственность за управление ими распределяется между всеми участниками.

Успех в управлении киберрисками в логистике промышленной кооперации зависит от сочетания технического совершенства, прозорливого управления и культуры безопасности на всех уровнях.

Будущее логистики связано с цифровизацией, автоматизацией и обменом данными в реальном времени. Но по мере роста цифровых технологий растут и угрозы. Компании, осознающие значимость кибербезопасности и инвестирующие в защиту данных и инфраструктуры, получают конкурентное преимущество на рынке.

Заключение

Проведенное исследование киберрисков в логистике промышленной кооперации позволяет сформулировать следующие выводы, подтверждающие заявленную научную новизну.

1. В отношении уточнения понятия каскадного эффекта киберрисков:

В работе даны предложения по уточнению понятия каскадного эффекта киберрисков применительно к логистике промышленной кооперации. Установлено, что в условиях цифровой взаимозависимости участников цепочки поставок сбой в информационной системе одного из контрагентов – логистического оператора, поставщика или подрядчика – способен

инициировать цепную реакцию нарушений у всех контрагентов, приводящую к финансовым, операционным и репутационным потерям для всей цепи поставок. Это подтверждает, что каскадный эффект в логистике промышленной кооперации имеет системный характер, требующий особого подхода к управлению рисками.

2. В отношении систематизации методов идентификации киберрисков:

В работе даны предложения по систематизации методов идентификации киберрисков с учетом специфики промышленной кооперации. Систематизация показала, что эффективное выявление киберрисков требует комплексного подхода, включающего анализ бизнес-процессов и ИТ-инфраструктуры, инвентаризацию цифровых активов, оценку уязвимостей, экспертные методы и анализ рисков контрагентов. При этом особое значение для промышленной кооперации имеет оценка уровня кибербезопасности всех внешних исполнителей, поскольку атака часто начинается именно с одного из участников цепочки поставок. Предложенная систематизация позволяет дифференцированно подходить к оценке угроз для каждого участника.

3. В отношении обоснования необходимости комплексного применения мер управления:

В работе даны предложения по обоснованию необходимости комплексного применения технических, организационных и образовательных мер управления киберрисками в логистике промышленной кооперации на основе принципов defense in depth и Zero Trust. Обосновано, что ни одна мера в отдельности не обеспечивает надежной защиты, поэтому стратегия должна строиться на их сочетании. Технические меры включают межсетевые экраны, системы обнаружения вторжений, шифрование данных и PAM-системы для управления привилегированным доступом. Организационные меры предполагают многофакторную аутентификацию, строгий контроль учетных записей, сегментацию сети и разработку альтернативных «бумажных» процедур на случай отказа цифровых систем. Образовательные меры направлены на регулярное обучение персонала распознаванию фишинговых атак и социальной инженерии. Принципы defense in depth и Zero Trust, адаптированные к условиям взаимодействия множества независимых предприятий, позволяют выстроить эффективную систему защиты.

Проведенное исследование позволяет утверждать, что эффективное управление киберрисками в логистике промышленной кооперации возможно только при комплексном, непрерывном и координированном подходе со стороны всех участников цепочки поставок. Успех в этой области зависит от сочетания технического совершенства, прозорливого управления и культуры безопасности на всех уровнях. В условиях цифровизации, автоматизации и обмена данными в реальном времени компании, осознающие значимость кибербезопасности и инвестирующие в защиту данных и инфраструктуры, получают конкурентное преимущество на рынке.

Список литературы

1. Дмитриев, А. В. Организационно-экономические аспекты обеспечения информационной безопасности в логистических системах / А. В. Дмитриев // Управленческое консультирование. – 2025. – №1 (187). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-ekonomicheskie-aspekty-obespecheniya-informatsionnoy-bezopasnosti-v-logisticheskih-sistemah (дата обращения: 10.08.2026).

2. Байбик, Г. Л. Анализ рисков внедрения цифровых технологий в логистике / Г. Л. Байбик, А. Р. Буренин, Д. В. Швандар // Вестник евразийской науки. – 2024. – №1S. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-riskov-vnedreniya-tsifrovyh-tehnologiy-v-logistike (дата обращения: 10.08.2026).

3. Климова, Е. З. Управление рисками проектов в системе обеспечения экономической безопасности предприятия / Е. З. Климова // Экономико-правовые проблемы обеспечения экономической безопасности Российской Федерации : Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 04 апреля 2024 года. – Нижний Новгород, 2024. – С. 355-363.

4. Зайцев, Д. А. Интеграция искусственного интеллекта в цифровую трансформацию промышленного сектора России как фактор устойчивости и конкурентоспособности / Д. А. Зайцев // Современные тенденции в социально-экономическом развитии общества : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Москва, 11–12 декабря 2025 года. – Москва : Московский институт экономики, политики и права, 2026. – С. 399-410.

5. Rodríguez-García M. et al. Managing technology-related disruptions and vulnerabilities in highly automated warehouse systems: an integrative review and research agenda //International Journal of Production Research. – 2026. – Т. 64. – №. 5. – С. 1676-1708.

6. Friday, D. An inductive analysis of collaborative cybersecurity management capabilities, relational antecedents and supply chain cybersecurity parameters / D. Friday, S. A. Melnyk, M. Altman, N. Harrison, S. Ryan // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. – 2024. – Vol. 54, № 5. – P. 476-500.

7. Руденко, Н. А. Управление киберрисками в экосистеме цифровых цепочек поставок: уязвимости, последствия и стратегии повышения защищенности / Н. А. Руденко, Ф. Е. Березкин // Актуальные проблемы кибербезопасности. Противодействие экстремизму и терроризму в информационной молодежной среде : сборник докладов I межрегиональной научно-практической конференции. – Брянск : БГТУ, 2025. – С. 145-150.

УДК 004.056.53

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ПОХОДКЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Гончаренко В.О., студент;
Анисимова Э.С., к.т.н., доцент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-0711-5852;
E-mail: veronikagoncharenko2004@gmail.com

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PACKAGE FOR BIOMETRIC AUTHENTICATION OF HUMANS BY GAIT BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

Goncharenko V.O., student;
Anisimova E.S., PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-0711-5852;
E-mail: veronikagoncharenko2004@gmail.com

Аннотация

В статье рассматривается разработка программного комплекса биометрической аутентификации человека по походке на основе нейросетевой модели «GaitSet». Актуальность работы связана с необходимостью развития бесконтактных способов проверки подлинности пользователя, которые могут использоваться как дополнительный фактор в системах контроля и управления доступом. В качестве нейросетевой модели распознавания походки исполь-

зуется нейросетевая модель «GaitSet», рассматривающая походку как множество силуэтов и формирующая эмбеддинг-вектор признаков. Для обучения и оценки применяется датасет «CASIA-B», дополнительно сформирован собственный набор видеозаписей походки, отражающий более сложные условия съемки. В программном комплексе реализованы запись видеопотока, выделение силуэтов, нормализация кадров, извлечение признаков нейросетевой моделью, формирование биометрических шаблонов, сравнение эмбеддинг-векторов и принятие решения по порогу. Оценка проводится по метрикам «FAR» («False Acceptance Rate»), «FRR» («False Rejection Rate»), «EER» («Equal Error Rate») и «Accuracy». Разработанный комплекс может рассматриваться как прототип бесконтактного биометрического фактора для дальнейшей интеграции в системы контроля и управления доступом.

Ключевые слова: аутентификация, биометрическая аутентификация, походка, нейронные сети, компьютерное зрение

Abstract

The article discusses the development of software system for biometric human authentication based on gait using the neural network model «GaitSet». The relevance of the work stems from the need to develop contactless methods of user verification that can serve as an additional factor in access control and management systems. The «GaitSet» neural network model, which treats gait as a set of silhouettes and generates a embedding feature vector, is used as the gait recognition model. The «CASIA-B» dataset is used for training and evaluation; additionally, a proprietary dataset of gait video recordings reflecting more complex capture conditions has been compiled. The software system implements video stream recording, silhouette extraction, frame normalization, feature extraction using the neural network model, generation of biometric template, comparison of embedding vectors, and threshold-based decision making. Evaluation is conducted using the metrics FAR (False Acceptance Rate), FRR (False Rejection Rate), EER (Equal Error Rate), and Accuracy. The developed system can be considered as a prototype of a contactless biometric factor for further integration into access control and management systems.

Keywords: authentication, biometric authentication, gait, neural networks, computer vision

Введение

Развитие информационных систем усиливает требования к механизмам проверки подлинности пользователей. Традиционные способы аутентификации, основанные на паролях, PIN-кодах или идентификаторах доступа, удобны в эксплуатации, но могут быть скомпрометированы в результате утраты, передачи другому лицу или подбора. Именно поэтому в задачах защиты информации все большее значение приобретают биометрические методы, использующие физиологические и поведенческие характеристики человека [1].

Одним из перспективных биометрических признаков является походка. Ее особенность состоит в том, что регистрация может выполняться бесконтактно, с использованием видеокамеры, без необходимости специального взаимодействия пользователя с устройством, что отличает аутентификацию по походке от методов, требующих прикосновения к сенсору или нахождения человека на малом расстоянии от считывателя. Вместе с тем походка является изменчивым признаком, так как на нее влияет большое количество внешних и внутренних факторов, например, обувь, одежда, физическое состояние, ракурс камеры, освещение и качество видеозаписи [2]. Указанные факторы затрудняют применение жестко заданных правил и ручное выделение признаков.

В классических методах распознавания походки используются заранее определенные параметры движения или силуэтные представления, например длина шага, каденс, усредненное изображение походки и другие признаки [3]. Классические методы интерпретируемы, однако их качество существенно зависит от правильности выбора признаков. Нейросе-

тевые модели позволяют формировать признаковое описание автоматически, что особенно важно при обработке видеоданных, содержащих большое количество пространственных и временных изменений. Оптимальным и удобным решением для распознавания человека по походке является нейросетевая модель «GaitSet», выбранная в данной работе в качестве основы [4].

Цель исследования заключается в разработке программного комплекса биометрической аутентификации человека по походке и адаптации нейросетевой модели «GaitSet» для решения задачи проверки заявленного пользователя. В отличие от идентификации, где система должна определить человека среди множества зарегистрированных субъектов, аутентификация выполняется по схеме «один к одному», то есть текущий образец сравнивается только с шаблонами пользователя, идентификатор которого был предъявлен системе.

Методика

Методика исследования основана на последовательном переходе от нейросетевого распознавания походки к прикладной задаче биометрической аутентификации пользователя. В исходной постановке модели распознавания походки чаще решают задачу идентификации, то есть определяют человека среди множества известных субъектов. В разработанном комплексе используется схема «один к одному», где пользователь сначала предъявляет идентификатор, после чего система сравнивает текущий образец походки только с шаблонами указанного пользователя.

Работа комплекса включает несколько этапов. Сначала с камеры получается видеопоток и формируется короткая запись прохода пользователя. Затем выполняется выделение силуэтов движущегося человека, очистка маски, масштабирование и центрирование кадров. После этого из подготовленных силуэтов формируются последовательности, которые подаются на вход нейросетевой модели «GaitSet». Модель «GaitSet» используется как модуль извлечения признаков, а не как самостоятельный классификатор. На выходе модель формирует эмбеддинг-вектор, описывающий особенности походки. При регистрации пользователя несколько таких векторов сохраняются как биометрические шаблоны. При аутентификации текущие эмбеддинг-векторы сравниваются с сохраненными шаблонами заявленного пользователя с помощью евклидова расстояния. Решение об аутентификации принимается по пороговому правилу. Если расстояние между текущим образцом и шаблоном не превышает установленный порог и принято достаточное число проверочных сегментов, пользователь считается подлинным. В итоговой реализации используется рабочий порог 0,09, выбранный экспериментально с учетом проверки приложения на собственных видеозаписях.

Качество разработанного подхода оценивается по метрикам «FAR», «FRR», «EER» и «Accuracy». Основной акцент сделан на «EER», так как эта метрика отражает компромисс между ложным допуском постороннего пользователя и ложным отказом подлинному пользователю. Метрика «Accuracy» используется как дополнительный показатель, поскольку при несбалансированном количестве подлинных и поддельных сравнений она не всегда достаточно полно отражает качество биометрической системы.

Основная часть

Выбор модели и исходных данных

При разработке программного комплекса ключевым этапом является выбор нейросетевой модели, способной формировать устойчивое признаковое представление походки. В качестве основы была выбрана модель «GaitSet», поскольку она рассматривает походку как множество силуэтов и не требует строго фиксированного порядка кадров [4]. Для прикладного приложения это важно, так как видеозапись прохода пользователя может содержать различное число кадров, а качество отдельных силуэтов может изменяться в зависимости от освещения, фона и положения человека относительно камеры. Структура нейросетевой модели «GaitSet» изображена на рис. 1.

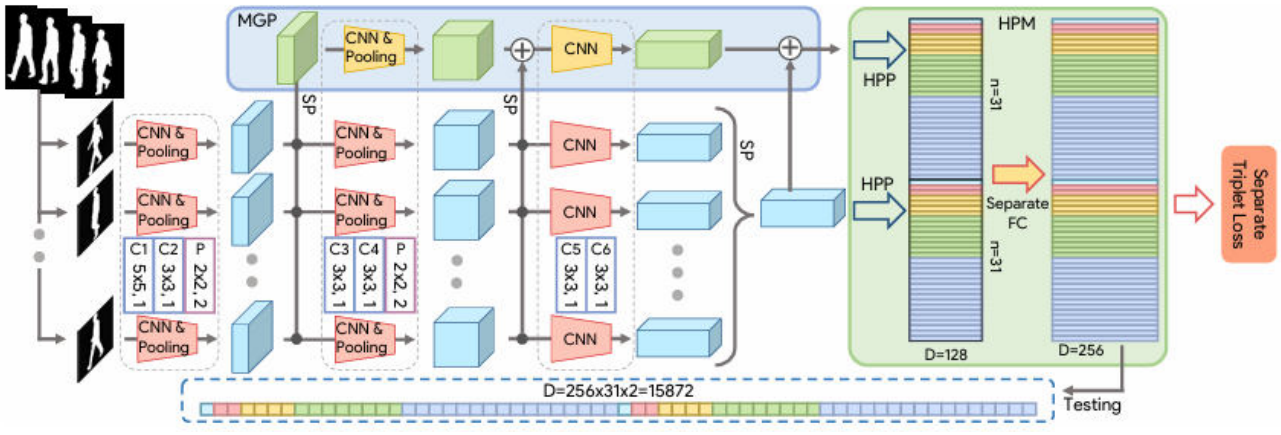


Рис. 1. Структура нейросетевой модели «GaitSet»

В качестве базового набора данных использовался датасет «CASIA-B», содержащий записи походки в контролируемых условиях [5]. Его применение позволило провести обучение и первичную оценку модели на подготовленных силуэтах. Использование «CASIA-B» важно для проверки работоспособности выбранной архитектуры, так как в этом случае влияние ошибок выделения силуэта минимально и можно оценить качество признакового пространства, формируемого нейросетевой моделью. Примеры кадров из датасета «CASIA-B» изображены на рис. 2.

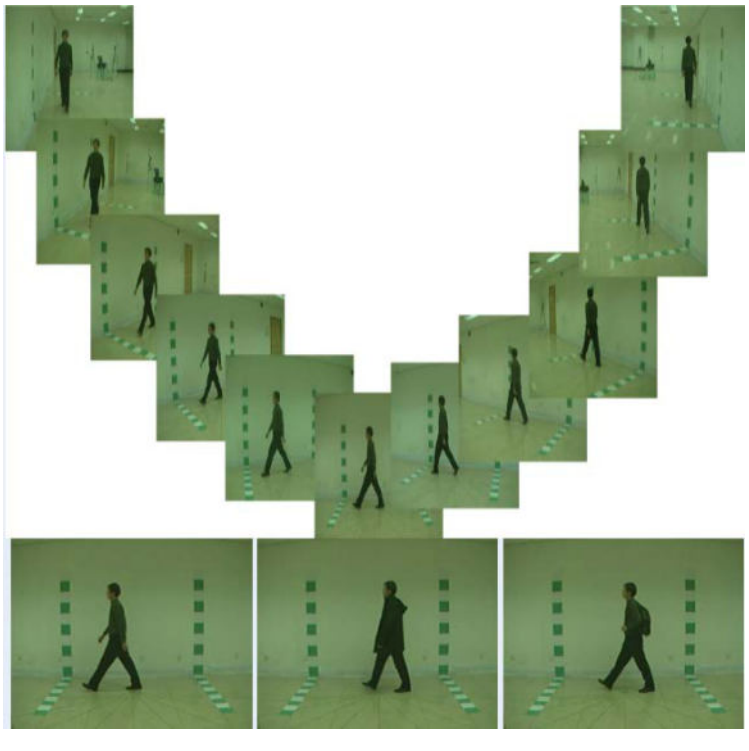


Рис. 2. Примеры кадров из датасета «CASIA-B»

Дополнительно был сформирован собственный набор видеозаписей походки. Он использовался для проверки комплекса в условиях, более близких к практическому применению. В отличие от «CASIA-B», собственные записи содержат неоднородный фон, изменение освещения, различное качество видеозаписи и возможные ошибки сегментации. За счет этого стало возможным оценить не только качество модели, но и устойчивость всей цепочки обработки данных. Примеры кадров собственного датасета изображены на рис. 3.

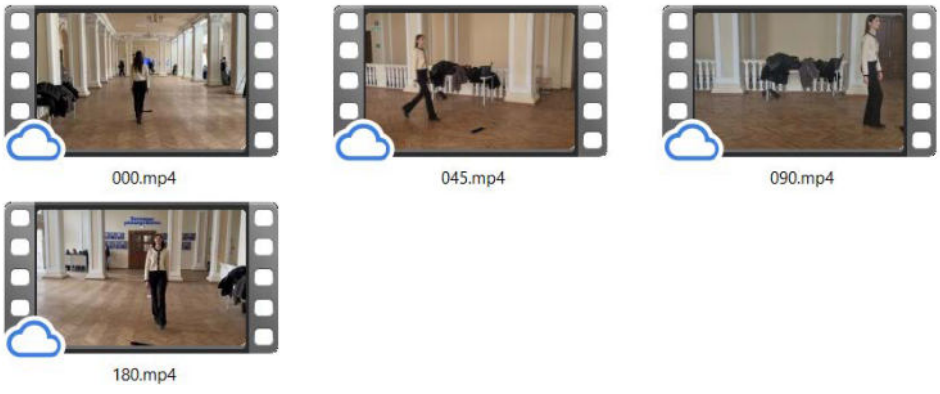


Рис. 3. Примеры кадров собственного датасета

Подготовка видеоданных

Перед подачей данных на вход «GaitSet» выполнялась предобработка видеозаписей. Из видеопотока выделялся движущийся объект, после чего формировалась бинарная маска силуэта. Затем выполнялись очистка маски, масштабирование изображения, центрирование силуэта и формирование последовательностей кадров. Эти операции необходимы, поскольку модель работает не с исходным цветным видео, а с силуэтным представлением человека. Качество предобработки напрямую влияет на результат аутентификации. Если в силуэт попадают элементы фона или, наоборот, теряются части фигуры, эмбеддинг-вектор становится менее устойчивым. Поэтому при анализе результатов отдельно учитывалось, что снижение качества на собственном датасете связано не только с особенностями модели, но и с более сложным этапом выделения силуэтов из обычных видеозаписей. Примеры выделенных обработанных силуэтов из собственного датасета изображены на рис. 4.



Рис. 4. Примеры выделенных силуэтов из собственного датасета

Адаптация «GaitSet» для задачи аутентификации

Изначально «GaitSet» предназначена для распознавания человека по походке, то есть для задачи идентификации. В разработанном комплексе модель была использована иначе, она выполняет роль извлекателя признаков, а не классификатора личности. На выходе формируется эмбеддинг-вектор, который описывает индивидуальные особенности походки пользователя.

При регистрации одного пользователя формируется несколько эмбеддинг-векторов. Они сохраняются как биометрические шаблоны. Подход позволяет учитывать естественную вариативность походки: даже один и тот же человек при повторной записи может двигаться немного иначе. При аутентификации текущий образец обрабатывается тем же способом, после чего полученные эмбеддинги сравниваются с шаблонами заявленного пользователя.

Сравнение выполняется по евклидову расстоянию. Чем меньше расстояние между текущим эмбеддингом и сохраненным шаблоном, тем выше сходство образцов. Итоговое решение принимается на основе рабочего порога и числа успешно принятых проверочных сегментов. Для программного комплекса выбран порог 0,09, который был подобран экспериментально с учетом работы приложения на собственных видеозаписях.

Экспериментальная оценка качества

Для оценки качества использовались метрики «FAR», «FRR», «EER» и «Accuracy». Основное внимание уделялось метрике «EER», так как эта метрика показывает точку примерно-

го равенства ложного допуска и ложного отказа. В задаче биометрической аутентификации такой показатель удобен для сравнения разных режимов работы, поскольку отражает баланс между безопасностью системы и удобством прохождения проверки [6].

На датасете «CASIA-B» оценивались ракурсы 0 и 90 градусов. Для каждого ракурса были сформированы подлинные и поддельные сравнения. Подлинные сравнения соответствовали образцам одного пользователя, а поддельные сравнению текущего образца с шаблоном другого пользователя. Способ оценки позволил проверить, насколько хорошо комплекс отделяет собственные образцы от посторонних.

После оценки на «CASIA-B» комплекс был проверен на собственном датасете. Этап необходим, поскольку итоговое приложение должно работать не только с заранее подготовленными силуэтами, но и с видеозаписями, получаемыми в менее контролируемых условиях. Результаты оценки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки комплекса «GaitAuth»

Данные	Ракурс	EER	Порог EER	Ориентировочная точность
CASIA-B	0 градусов	0,0195	0,0546	98,05%
CASIA-B	90 градусов	0,0580	0,0532	94,20%
Собственный датасет	0 градусов	0,2000	0,0823	80,00%
Собственный датасет	90 градусов	0,1162	0,0684	88,38%

На подготовленных силуэтах «CASIA-B» получены более низкие значения EER: 0,0195 для ракурса 0 градусов и 0,0580 для ракурса 90 градусов. На собственном датасете значения EER составили 0,2000 и 0,1162 соответственно. Разница объясняется тем, что «CASIA-B» содержит заранее подготовленные силуэты, тогда как собственные видеозаписи требуют дополнительного выделения объекта из фона.

Полученные результаты показывают, что при переходе к реальным данным возрастает роль предварительной обработки. На собственном датасете боковой ракурс 90 градусов оказался более информативным, чем ракурс 0 градусов, что связано с тем, что при боковой съемке лучше видны фазы шага, движение ног и общая динамика походки.

Программная реализация «GaitAuth»

После обучения, адаптации и оценки модели была выполнена практическая реализация приложения «GaitAuth». Программный комплекс реализован на языке «Python». Для интерфейса использовалась библиотека «Tkinter», для обработки видеопотока и изображений использовалась библиотека «OpenCV», для выполнения нейросетевой модели библиотека «PyTorch».

Приложение включает несколько функциональных модулей. Модуль интерфейса отвечает за ввод идентификатора, запуск регистрации и аутентификации, отображение результата и просмотр зарегистрированных пользователей. Модуль обработки видео выполняет запись прохода и выделение силуэтов. Модуль нейросетевой обработки загружает «GaitSet» и рассчитывает эмбеддинг-векторы. Модуль принятия решения сравнивает текущие признаки с шаблонами пользователя и формирует итоговый результат.

При регистрации пользователь вводит идентификатор и подтверждает согласие на обработку биометрических данных. После записи прохода приложение формирует несколько биометрических шаблонов. При аутентификации пользователь снова указывает идентификатор, а система сравнивает текущий образец с сохраненными шаблонами. Пользователь полу-

чает итоговый результат проверки, а в журнале сохраняются служебные параметры: рассчитанное расстояние, установленный порог, число найденных силуэтов и количество принятых сегментов. Общая архитектура программного комплекса «GaitAuth» изображена на рис. 5.

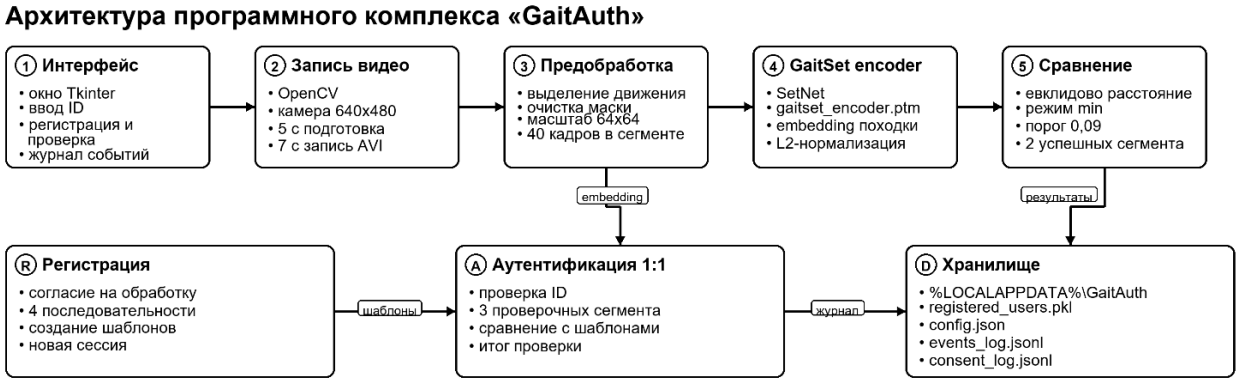


Рис. 5. Общая архитектура программного комплекса «GaitAuth»

Хранение шаблонов и возможность интеграции

В комплексе предусмотрено локальное хранение данных. В базе сохраняются не исходные видеозаписи, а эмбеддинг-векторы, полученные после нейросетевой обработки. Выбранное решение уменьшает объем хранимой информации, однако сами шаблоны также требуют защиты, так как используются для проверки принадлежности образца конкретному пользователю [7]. Поэтому в приложении предусмотрены подтверждение согласия, журналирование событий и возможность удаления данных пользователя. Защитные механизмы, применяемые в комплексе, изображены на рис. 6.

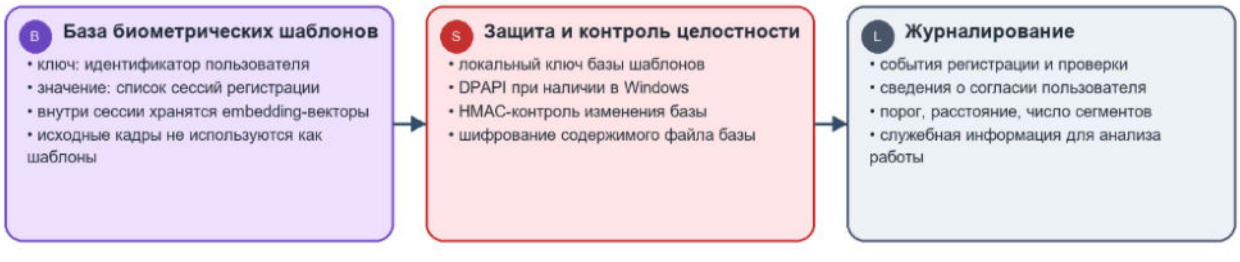


Рис. 6. Защитные механизмы, применяемые в программном комплексе

Разработанный комплекс может рассматриваться как прототип дополнительного биометрического фактора для систем контроля и управления доступом. В возможном сценарии пользователь сначала предъявляет карту или другой идентификатор, после чего «GaitAuth» выполняет дополнительную проверку по походке. При положительном результате внешняя система может получить решение «доступ разрешен», а при отрицательном – «доступ запрещен». Последовательность работы интегрированного комплекса изображена на рис. 7.

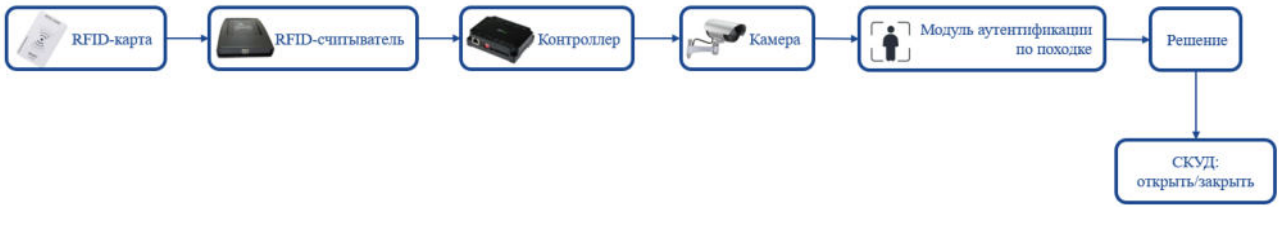


Рис. 7. Последовательность работы интегрированного комплекса

Выводы

В статье рассмотрен программный комплекс «GaitAuth», предназначенный для биометрической аутентификации человека по походке. Комплекс реализует полный прикладной цикл: запись видеопотока, выделение силуэтов, извлечение признаков с помощью «GaitSet», формирование биометрических шаблонов, сравнение эмбеддингов и вывод результата проверки. Модель «GaitSet» была адаптирована из задачи идентификации в задачу аутентификации по схеме «один к одному». В разработанном приложении она используется как извлекатель признаков, а не как классификатор личности, что позволяет сравнивать текущий образец только с шаблонами заявленного пользователя.

Экспериментальная оценка показала, что на подготовленных силуэтах «CASIA-B» качество выше, чем на собственных видеозаписях. Можно сделать вывод, что практическая надежность системы зависит не только от выбранной модели, но и от качества записи, ракурса камеры, точности выделения силуэта и настройки порога.

Разработанный комплекс имеет практическую направленность и может использоваться как прототип дополнительного биометрического фактора в системах контроля и управления доступом. Дальнейшее развитие работы связано с расширением собственного датасета, улучшением выделения силуэтов и добавлением проверки живого присутствия.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54412-2019 (ISO/IEC TR 24741:2018). Информационные технологии. Биометрия. Общие положения и примеры применения (ISO/IEC TR 24741:2018, Information technology – Biometrics – Overview and application, MOD): утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2019 г. № 1184-ст: дата введения 2020-06-01 – Москва : Стандартинформ, 2019. – 36 с.

2. Богданов, М. Р. Биометрическая идентификация, основанная на походке / М. Р. Богданов, Г. Р. Шахмаметова, Н. Н. Оськин, А. В. Корнилов // Системы управления, связи и безопасности. – 2024. – № 1. – С. 191-212. doi: 10.24412/2410-9916-2024-1-191-212.

3. Соколова, А. И. Методы идентификации человека по походке в видео / А. И. Соколова, А. С. Конушин // Труды ИСП РАН. – 2019. – Т. 31., – Вып. 1. – С. 69-82. doi:10.15514/ISPRAS-2019-31(1)-5.

4. Chao H., He Y., Zhang J., Feng J. GaitSet: Regarding Gait as a Set for Cross-View Gait Recognition. – 2018. doi: 10.48550/arXiv.1811.06186.

5. CASIA Gait Database / Center for Biometrics and Security Research [Электронный ресурс]. – URL: http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/Gait%20Databases.asp (дата обращения: 10.02.2026).

6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19795-1-2007. Автоматическая идентификация. Идентификация биометрическая. Эксплуатационные испытания и протоколы испытаний в биометрии. Часть 1. Принципы и структура (ISO/IEC 19795-1:2006, Information technology – Biometric perfomance testing and reporting – Part 1: Principles and framework, IDT): утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 541-ст: дата введения: 2008-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 57 с.

7. О персональных данных: Федеральный закон №152-ФЗ от 27.07.2006 г. : [принят Государственной Думой 8 июля 2006 г. : одобрен Советом Федерации 14 июля 2006 г.] // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006. – № 31. – Ст. 3451.

УДК 004.056.5

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ФИШИНГОВЫМ АТАКАМ В TELEGRAM

Гончаров В.В., студент;
Хусаинов Р.М., ассистент;
ORCID: 0000-0003-4985-7833;
Талипов Н.Г., к.т.н., доцент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-0528-0473

DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE TRAINING SIMULATOR FOR COUNTERING PHISHING ATTACKS IN TELEGRAM

Goncharov V.V., student;
Khusainov R.M., assistant;
ORCID: 0000-0003-4985-7833;
Talipov N.G., PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-0528-0473

Аннотация

В статье рассматривается задача разработки интерактивного тренажера, ориентированного на формирование у пользователей устойчивых практических навыков распознавания и нейтрализации фишинговых атак в среде мессенджера Telegram. Актуальность исследования определяется экспоненциальным ростом числа фишинговых инцидентов в данном мессенджере за последние два года, что связано с его высокой популярностью среди пользователей и активным внедрением финансовых сервисов и платежных инструментов внутри экосистемы. В работе проведен систематический анализ таксономии фишинговых угроз, характерных для мессенджеров, включая вишинг (голосовой фишинг), смишинг (атаки через текстовые сообщения), QR-фишинг (подмена QR-кодов), клонирование учетных записей и маскированные ссылки с визуально идентичными доменами. На основе проведенного анализа сформулированы требования к тренажеру, спроектирована архитектура Telegram-бота на базе Python 3.10+ и асинхронной библиотеки aiogram 3.x с использованием конечных автоматов (FSM) для управления диалогом. Разработана реляционная структура базы данных SQLite для хранения пользовательских сессий и результатов обучения. Реализован интерактивный тренажер с четырехэтапной моделью обучения: PRE-тест, теоретическое обучение, тренировочный режим с мгновенной обратной связью, POST-тест. Контентная база включает 24 вопроса и 10 теоретических материалов. Экспериментальная апробация на выборке из 25 добровольцев подтвердила статистически значимую эффективность тренажера: средний процент правильных ответов возрос с 59,7% до 82,1%, абсолютный прирост составил 22,4%. Наиболее существенное улучшение продемонстрировали участники с низким исходным уровнем знаний (менее 60% правильных ответов), а частота ошибок по сложным тематическим блокам сократилась на 55–75%. Разработанный тренажер может быть интегрирован в системы корпоративного повышения квалификации сотрудников, использован в образовательных программах высших и средних специальных учебных заведений по направлениям информационной

безопасности, а также применен для самостоятельного обучения пользователей, стремящихся повысить свою цифровую грамотность и устойчивость к социальной инженерии.

Ключевые слова: фишинг, информационная безопасность, Telegram-бот, интерактивный тренажер, социальная инженерия, PRE-тест, POST-тест, Python, aiogram, SQLite

Abstract

This article examines the development of an interactive simulator aimed at developing users` sustainable practical skills in recognizing and neutralizing phishing attacks in the Telegram messenger environment. The relevance of this research is determined by the exponential growth in the number of phishing incidents in this messenger over the past two years, which is associated with its high popularity among users and the active integration of financial services and payment instruments within the ecosystem. The paper provides a systematic analysis of the taxonomy of phishing threats specific to messengers, including vishing (voice phishing), smishing (text message attacks), QR phishing (QR code substitution), account cloning, and masked links with visually identical domains. Based on the analysis, requirements for the simulator are formulated, the architecture of a Telegram bot based on Python 3.10+ and the asynchronous library aiogram 3.x using finite state machines (FSM) for dialog management was designed. A relational SQLite database structure for storing user sessions and learning results was developed. An interactive simulator with a four-stage learning model was implemented: pre-test, theoretical training, training mode with instant feedback, and post-test. The content base includes 24 questions and 10 theoretical materials. Experimental testing on a sample of 25 volunteers confirmed the simulator's statistically significant effectiveness: the average percentage of correct answers increased from 59,7% to 82,1%, with an absolute gain of 22,4%. Participants with a low initial knowledge level (less than 60% correct answers) demonstrated the most significant improvement, while the error rate for complex thematic blocks decreased by 55–75%. The developed simulator can be integrated into corporate employee training systems, used in educational programs at higher and secondary specialized educational institutions in the field of information security, as well as applied for self-study of users seeking to improve their digital literacy and resilience to social engineering.

Keywords: phishing, information security, Telegram bot, interactive simulator, social engineering, PRE-test, POST-test, Python, aiogram, SQLite

Введение

Фишинг остается одной из главных угроз информационной безопасности. По данным Роскомнадзора, в 2024 г. количество фишинговых атак в России выросло на 425% по сравнению с 2023 г. [1]. Социальная инженерия используется в 92% атак на частных лиц и в 50% атак на организации. При этом 68% сотрудников не умеют распознавать фишинговые атаки, а потери бизнеса от фишинга превышают 14 млрд рублей в год. Telegram является самым популярным мессенджером в России: его ежедневная аудитория составляет 74% пользователей мессенджеров в возрасте 12–64 лет [1]. Это делает его привлекательной платформой для злоумышленников, использующих поддельные боты, фейковые каналы, вредоносные ссылки и методы социальной инженерии. В 2025 г. количество доменов, используемых для взлома аккаунтов в Telegram, выросло в 2,5 раза по сравнению с 2024 г. Согласно отчету Group-IB за 2025 г., Telegram занял первое место среди мессенджеров по количеству выявленных фишинговых атак, обогнав WhatsApp и Viber.

Ключевым средством противодействия фишингу является не только техническая защита, но и повышение осведомленности пользователей, формирование у них устойчивых поведенческих компетенций в сфере информационной безопасности. Традиционные методы обучения, такие как лекции, инструктажи и памятки, демонстрируют ограниченную эффективность. Существующие платформы для обучения (Kaspersky ASAP, Infosec IQ, Cofense PhishMe, StopPhish) ориентированы преимущественно на email-фишинг, имеют высокую сто-

имость и сложны в развертывании [2, 3]. В связи с этим актуальной задачей является разработка интерактивного тренажера, имитирующего реальные сценарии фишинговых атак в среде Telegram.

Цель работы заключается в повышении уровня осведомленности пользователей о фишинговых атаках в мессенджерах посредством разработки интерактивного обучающего тренажера в формате Telegram-бота.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1) анализ фишинговых атак как угрозы информационной безопасности, изучены их виды и специфика в мессенджере Telegram;

2) формулирование требований к тренажеру, проектирование архитектуры Telegram-бота и структуры базы данных;

3) разработка интерактивного тренажера с использованием сценариев противодействия фишинговым атакам, включающего PRE-тест, обучающий модуль, тренировочный режим и POST-тест;

4) экспериментальная оценка эффективности разработанного тренажера на группе добровольцев и проанализированы полученные результаты.

Объектом исследования являются фишинговые атаки в мессенджере Telegram. Предметом исследования выступает методика и инструментарий интерактивного обучения пользователей противодействию фишинговым угрозам.

Теоретическая значимость исследования заключается в реализации подхода к интерактивному обучению распознаванию фишинговых атак с использованием FSM-архитектуры в среде мессенджера Telegram.

Практическая значимость исследования определяется возможностью применения разработанного тренажера в системах корпоративного обучения, образовательных учреждениях и для самостоятельной подготовки пользователей в области информационной безопасности.

Обзор фишинговых атак в Telegram

В современной практике информационной безопасности принято выделять несколько основных категорий фишинговых атак [4, 5]. В табл. 1 приведена классификация фишинговых атак.

Таблица 1

Классификация фишинговых атак в мессенджерах

Тип атаки	Канал доставки	Степень персонализации	Типичные признаки
Вишинг	Голосовые звонки, Telegram-звонки	Средняя	Звонок «из банка», запрос кода из SMS, создание паники
Смишинг	SMS	Низкая	Сообщение о проблеме с доставкой, ссылка на поддельный сайт
Кишинг (QR-фишинг)	QR-коды	Низкая	QR-код в публичном месте, обещание бонусов
Фишинг в мессенджерах	Telegram, WhatsApp, Viber	Средняя	Фейковый бот, подмена контакта, вредоносная ссылка
Клонирование аккаунта	Telegram, WhatsApp	Высокая	Дублирование профиля доверенного контакта
Маскированные ссылки	Все каналы	Низкая	Визуально схожие, но поддельные адреса

На основе анализа выявлены ключевые особенности Telegram как среды для фишинга: высокая популярность, возможность создания ботов с произвольными именами, функция маскированных ссылок и наличие мини-приложений (Web Apps). Наиболее распространенные схемы Telegram-фишинга: фейковые боты поддержки, вредоносные ссылки с маскировкой, QR-фишинг, запрос кода 2FA, подмена контакта, фальшивые розыгрыши и конкурсы.

Сравнительный анализ существующих решений

На рынке программного обеспечения для обучения информационной безопасности представлен ряд платформ. В табл. 2 приведено сравнение существующих решений и разрабатываемого тренажера по ключевым критериям.

Таблица 2

Сравнение существующих тренажеров и разработанного бота

Критерий	Kaspersky ASAP	Infosec IQ	Cofense PhishMe	StopPhish	Разработанный тренажер
Платформа	Email	Email	Email	Email	Telegram
Стоимость	От 5 000 р./год за сотрудника	От 19 $/год за сотрудника	От 10 $/год за сотрудника	0 – 3 720 р./год за сотрудника	Бесплатно
QR-фишинг	×	×	×	×	✓
PRE/POST тестирование	Частично	✓	×	✓	✓
Режим тренировки	×	✓	×	×	✓
Открытый исходный код	×	×	×	×	✓
Развертывание	Облачное	Облачное	Облачное	Облачное	Локальное

Сравнительный анализ показывает, что существующие решения ориентированы исключительно на email-фишинг, имеют высокую стоимость и сложность развертывания [6, 7]. Разработанный тренажер является единственным бесплатным и локальным решением для обучения распознаванию фишинга непосредственно в среде Telegram.

Архитектура тренажера

Для разработки тренажера выбран язык программирования Python 3.10+. Для взаимодействия с API Telegram применяется библиотека aiogram 3.x, предоставляющая встроенную поддержку конечных автоматов (FSM) для управления диалогами. Для хранения пользовательских данных выбрана СУБД SQLite с использованием асинхронного драйвера aiosqlite [8]. Контент (вопросы и теоретические материалы) хранится в формате JSON.

На рис. 1 представлена архитектурная схема взаимодействия компонентов тренажера.

На схеме отражены следующие связи: пользователь отправляет сообщение в Telegram, Telegram API передает его боту, Dispatcher направляет событие в соответствующий Handler, Handler обращается к Database layer для чтения/записи данных и к Services для бизнес-логики, после чего формирует ответ с клавиатурой и отправляет его обратно пользователю.

FSM-архитектура тренажера

Поле stage в таблице users принимает значения от 0 до 3 и определяет доступные режимы:

– stage = 0 (начальный этап) – доступен только PRE-тест;
– stage = 1 (PRE пройден) – доступны обучение и тренировка;
– stage = 2 (обучение пройдено) – доступны POST-тест, обучение и тренировка;
– stage = 3 (все пройдено) – доступны статистика, обучение и тренировка.

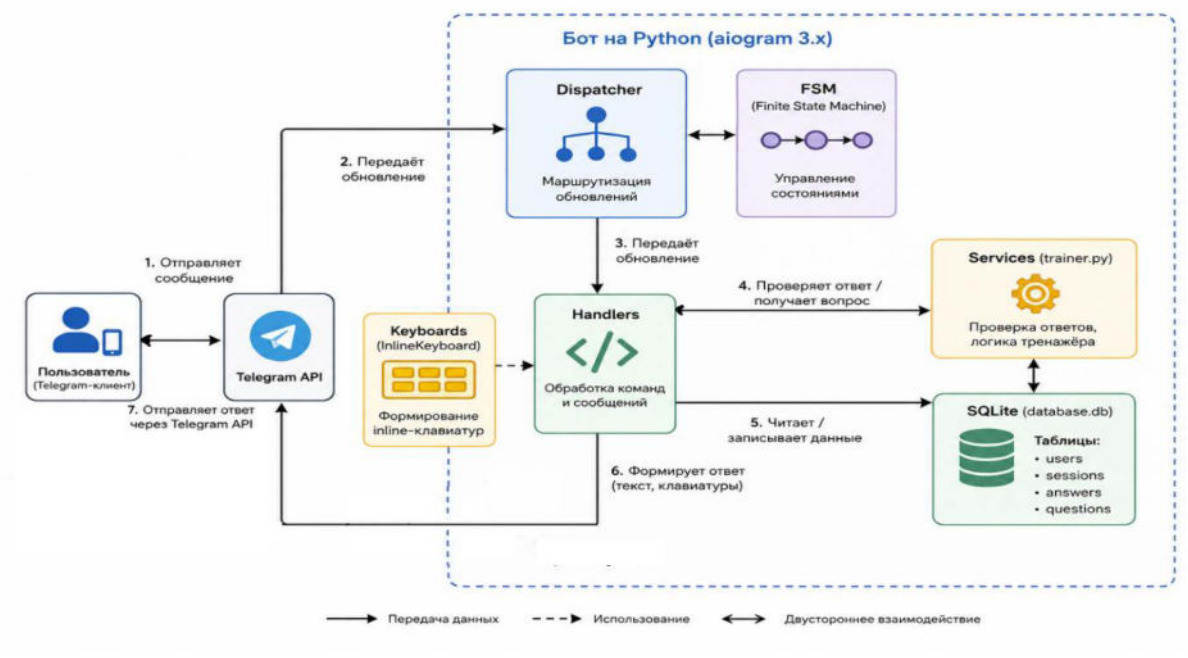


Рис. 1. Архитектурная схема взаимодействия компонентов

На рис. 2 представлена диаграмма переходов между этапами обучения.

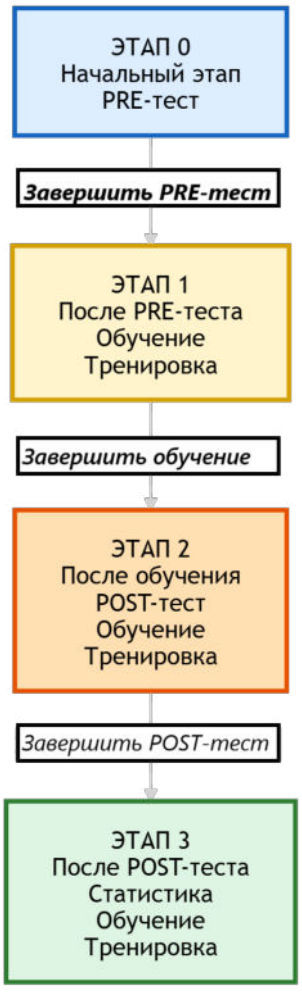


Рис. 2. Диаграмма переходов между этапами обучения

Диаграмма отражает ключевую особенность тренажера – строгую педагогическую последовательность, управляемую конечным автоматом (FSM) [9].

Проектирование структуры базы данных

База данных состоит из четырех таблиц: users (пользователи), questions (вопросы), sessions (сессии прохождения тестов) и answers (ответы). На рис. 3 представлена ER-диаграмма базы данных [10].

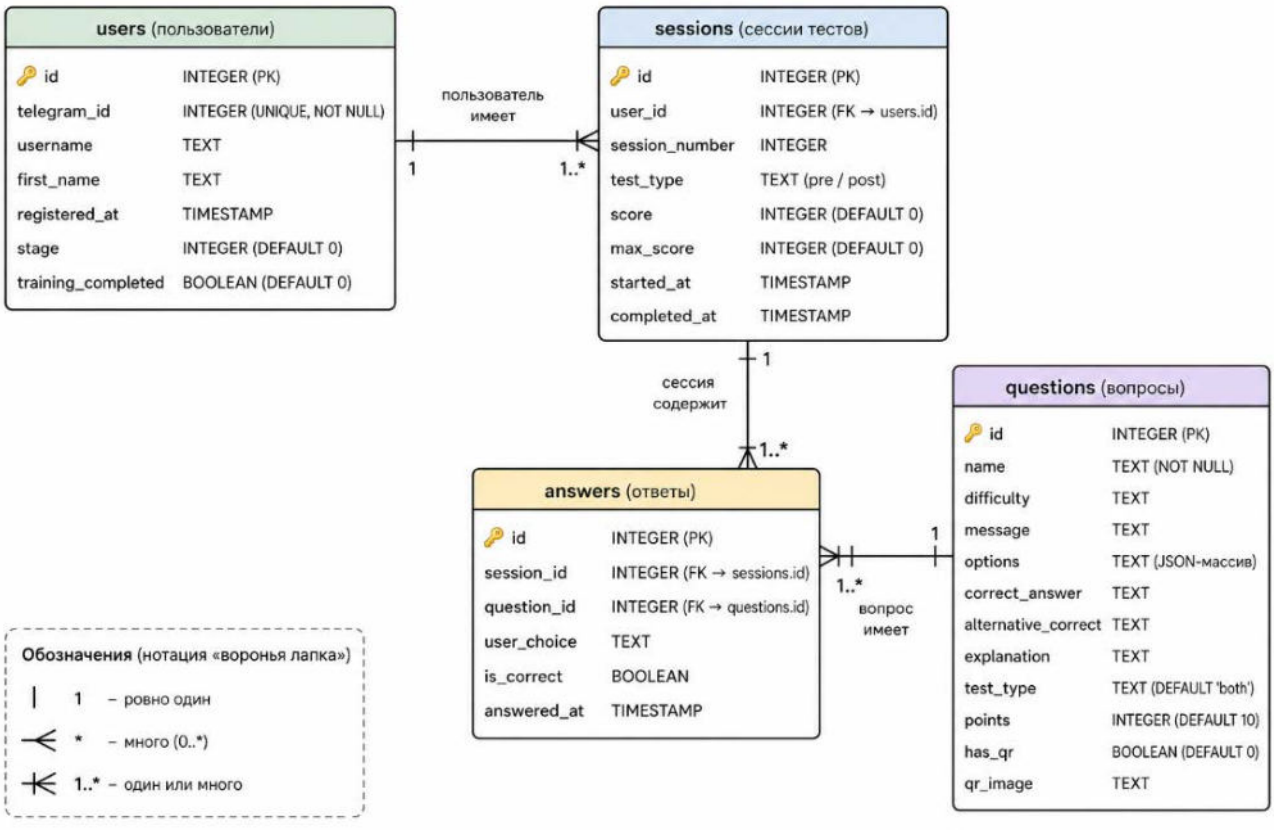


Рис. 3. ER-диаграмма базы данных тренажера

Таблица users хранит сведения о зарегистрированных пользователях. Таблица questions содержит базу заданий тренажера. Таблица sessions фиксирует факты прохождения тестов. Таблица answers регистрирует отдельные ответы пользователей.

Реализация режимов обучения

Тренажер реализует четырехэтапную педагогическую модель:

1. PRE-тест. Диагностический этап, состоящий из 15 вопросов (6 общих и 9 категории pre). Обратная связь не предоставляется.

2. Теоретическое обучение. Блок из 10 материалов по ключевым темам Telegram-фишинга. Навигация осуществляется с помощью кнопок «Назад» и «Вперед».

3. Тренировочный режим. Случайные вопросы из всей базы с мгновенной обратной связью. Результаты не сохраняются в статистику.

4. POST-тест. Итоговый контроль, состоящий из 15 вопросов (6 общих и 9 категории post). Доступен только после завершения теоретического обучения.

Экспериментальная оценка эффективности

Для оценки эффективности тренажера проведен педагогический эксперимент с участием 25 добровольцев. Эксперимент проводился в несколько этапов: PRE-тестирование, теоретическое обучение, тренировочный режим, POST-тестирование (через 3 дня после обучения). В табл. 3 представлены результаты участников эксперимента.

Таблица 3

Результаты PRE- и POST-тестирования

№	Участник	PRE-тест (%)	POST-тест (%)	Улучшение (%)
1	Vitaly	73,3	100,0	+26,7
2	Marat	73,3	80,0	+6,7
3	Unknown	93,3	100,0	+6,7
4	ui	60,0	86,7	+26,7
5	Айназ	53,3	80,0	+26,7
6	Никита	86,7	93,3	+6,6
7	Рамазан	20,0	80,0	+60,0
8	R.	53,3	60,0	+6,7
9	Maksim	26,7	66,7	+40,0
10	Софик	80,0	100,0	+20,0
11	Freddy	80,0	93,3	+13,3
12	Ратмир	33,3	73,3	+40,0
13	Антон	46,7	46,7	0,0
14	Данил	60,0	66,7	+6,7
15	Neckoluga	73,3	80,0	+6,7
16	Ксюша	66,7	93,3	+26,6
17	Тагир	33,3	93,3	+60,0
18	Gorech	86,7	93,3	+6,6
19	Камилла	66,7	100,0	+33,3
20	Алексей	73,3	66,7	-6,6
21	Дмитрий	13,3	46,7	+33,4
22	Эдуард	66,7	93,3	+26,6
23	Данила*	66,7	100,0	+33,3
24	Пользователь «…»	46,7	60,0	+13,3
25	Пользователь « | »	60,0	100,0	+40,0
Среднее		**59,7**	**82,1**	**+22,4**

Результаты эксперимента демонстрируют положительный эффект от использования разработанного тренажера. Средний процент правильных ответов в PRE-тесте составил 59,7%, в POST-тесте – 82,1%. Среднее улучшение составило 22,4%. Из 25 участников 23 показали улучшение результатов (92,0% от выборки). На рис. 4 представлена диаграмма средних результатов PRE- и POST-тестов.

Наибольший прирост продемонстрировали участники с низким начальным уровнем знаний. Участники с начальным уровнем ниже 50% показали среднее улучшение 46,7%. Участники с начальным уровнем 50-80% показали среднее улучшение 20,2%. Участники с начальным уровнем выше 80 % показали среднее улучшение 7,8%.

Наиболее сложными темами оказались: запрос кода 2FA (44% ошибок в PRE-тесте), подмена контакта (36%), QR-фишинг (32%). В POST-тесте количество ошибок по этим темам снизилось на 55-75%.

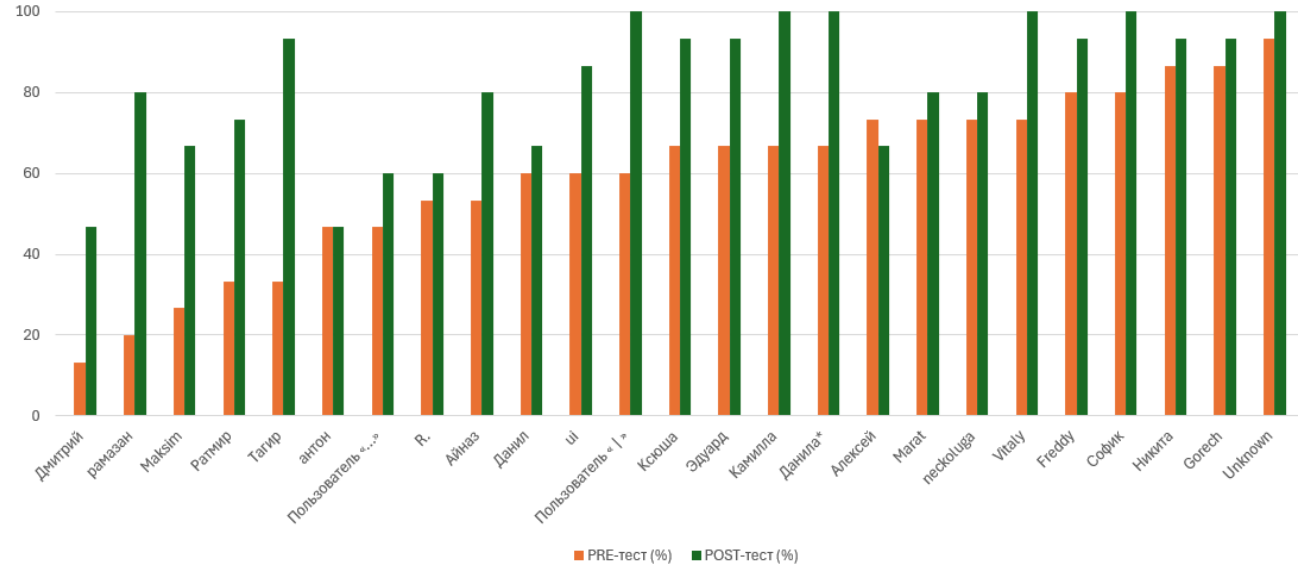


Рис. 4. Сравнение результатов PRE- и POST-тестов

Заключение

В ходе проведенного исследования решены следующие задачи:

1) проведен анализ фишинговых атак как угрозы информационной безопасности, выявлены особенности атак в Telegram, описаны методы социальной инженерии;

2) сформулированы требования к тренажеру, спроектирована архитектура Telegram-бота на Python 3.10+ и aiogram 3.x, разработана база данных SQLite из четырех таблиц;

3) реализован интерактивный тренажер с четырехэтапной моделью обучения;

4) экспериментально подтверждена эффективность разработанного тренажера: средний процент правильных ответов вырос с 59,7% до 82,1%, улучшение составило 22,4%.

Таким образом, цель работы достигнута. В перспективе целесообразно расширение базы вопросов, разработка системы адаптивного обучения, интеграция модуля геймификации и адаптация тренажера для других мессенджеров.

Список литературы

1. Telegram-фишинг: анализ атак и рекомендации по защите. – URL: https://habr.com/ru/articles/telegram-phishing (дата обращения: 22.06.2026).

2. Сидоров, Н. И. Методы обучения персонала организаций в области информационной безопасности: учебное пособие / Н. И. Сидоров. – Москва : ДМК Пресс, 2022. – 220 с.

3. Отчет о фишинговых угрозах 2024 / Kaspersky Lab. URL: https://www.kaspersky.ru/reports/phishing-2024 (дата обращения: 22.06.2026).

4. Петров, А. В. Фишинговые атаки в мессенджерах: угрозы и методы противодействия / А. В. Петров, Д. С. Иванова // Вопросы кибербезопасности. – 2023. – № 2. – С. 45-53.

5. Митник, К. Л. Социальная инженерия и методы защиты / К. Л. Митник, В. Симон; пер. с англ. – Санкт-Петербург : Питер, 2019. – 352 с.

6. Cofense PhishMe. Annual Phishing Response Report 2025. URL: https://cofense.com/report2025 (дата обращения: 22.06.2026).

7. StopPhish. Платформа обучения информационной безопасности. URL: https://stopphish.ru (дата обращения: 22.06.2026).

8. SQLite Documentation. – URL: https://www.sqlite.org/docs.html (дата обращения: 22.06.2026).

9. Ковалев, Р. А. Конечные автоматы в разработке диалоговых систем / Р. А. Ковалев // Программная инженерия. – 2021. – № 4. – С. 12-20.

10. Элмасри, Р. А. Проектирование баз данных: практический курс / Р. А. Элмасри, Ш. Б. Навате; пер. с англ. – Москва : Вильямс, 2020. – 1248 с.

УДК 004.056

МЕТОДОЛОГИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕДОНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Давыдова О.Д., студент;
Аникин И.В., д.т.н., заведующий кафедрой систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-9478-4894

METHODOLOGY AND FUNCTIONAL ANALYSIS OF THE MALICIOUS SOFTWARE

Davydova O.D., student;
Anikin I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department for Cybersecurity Systems, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-9478-4894

Аннотация

В статье рассмотрен процесс реверсивного анализа вредоносного программного обеспечения Phemedrone, относящегося к классу стилеров. В рамках исследования была разработана методология проведения реверсивного анализа вредоносного программного обеспечения (далее – ВПО), включающая последовательное применение методов статического и динамического анализа. Предложенный подход позволил выявить архитектурные особенности исследуемого образца, определить основные этапы его функционирования и исследовать механизмы взаимодействия с зараженной системой. В ходе анализа были выявлены используемые злоумышленником техники, сопоставленные с матрицей MITRE ATT&CK. На основе полученных результатов сформирован комплекс мер защиты, направленный на повышение эффективности обнаружения и противодействия подобным угрозам. Полученные результаты подтверждают практическую значимость разработанной методологии для исследования современных ВПО и совершенствования механизмов защиты.

Ключевые слова: реверсивный анализ, вредоносное программное обеспечение, стилер, Phemedrone, методология, статическое и динамическое исследование

Abstract

The article examines the process of reverse engineering of the malicious software Phemedrone, which belongs to the class of stealers. Within the framework of the study, a methodology for conducting reverse engineering of malicious software (hereinafter – malware) was developed, involving the sequential application of static and dynamic analysis methods. The proposed approach made it possible to identify the architectural features of the analyzed sample, determine the main stages of its functioning, and investigate the mechanisms of its interaction with the infected system. During the analysis, the techniques used by the attacker were identified and mapped against the MITRE ATT&CK matrix. Based on the results, a set of protection measures was developed to improve the effectiveness of detection and counteraction to such threats. The results confirm the practical significance of the developed methodology for investigating modern malware and for improving defense mechanisms.

Keywords: reverse engineering, malicious software, stealer, Phemedrone, methodology, static and dynamic research

1. Введение

Современные информационные системы все чаще становятся объектом атак с использованием вредоносных ПО, направленных на кражу конфиденциальных данных. Особую угрозу представляют собой программы класса стилер, которые предназначены для сбора системной информации, данных из браузеров, мессенджеров, криптокошельков и т.д., что может нанести большой урон как обычным пользователям сети Интернет, так и крупным компаниям. В связи с этим обеспечение качественной защиты от ВПО является одной из ключевых задач в сфере информационной безопасности.

Для того чтобы обеспечить качественную защиту от ВПО, необходимо детально изучать принципы его работы. Для этого применяются методы реверс-инжиниринга, позволяющие исследовать внутреннюю структуру программы [1]. Комплексное применение статического и динамического анализа позволяет идентифицировать угрозу, изучить ее внутреннее устройство, а также определить механизмы ее распространения и сокрытия, что в совокупности дает полное понимание работы ВПО [2].

В работе предлагается методология проведения реверс-инжиниринга, которая была применена к исследуемому образцу Phemedrone. Данный подход позволил системно исследовать архитектуру вредоносного образца, на основании чего удалось сформировать блок-схему работы ВПО, выделить индикаторы компрометации, сопоставить поведение Phemedrone с техниками матрицы MITRE ATT&CK и на основе этого разработать меры защиты.

2. Методология реверс-инжиниринга ВПО

Статический анализ представляет собой исследование программы без ее фактического запуска. На данном этапе происходит анализ самого файла, его структуры и архитектуры [3]. Для первичного анализа файла основными инструментами являются Detected It Easy (DIE) и CFF Explorer. В процессе идентификации файла, а также его структурного анализа и анализа защиты определяется размер, расширение, тип файла, таблицы импорта и экспорта, заголовки и секции и многое другое [4].

Более детальную информацию о ВПО можно узнать с помощью dnSpy. Данная программа позволяет детально изучить архитектуру классов и методов, изучить логику работы, найти ключевые строки и функции, URL, IP-адреса и т.д. [5].

Методологию статического анализа можно оформить в виде схемы, представленной на рис. 1.

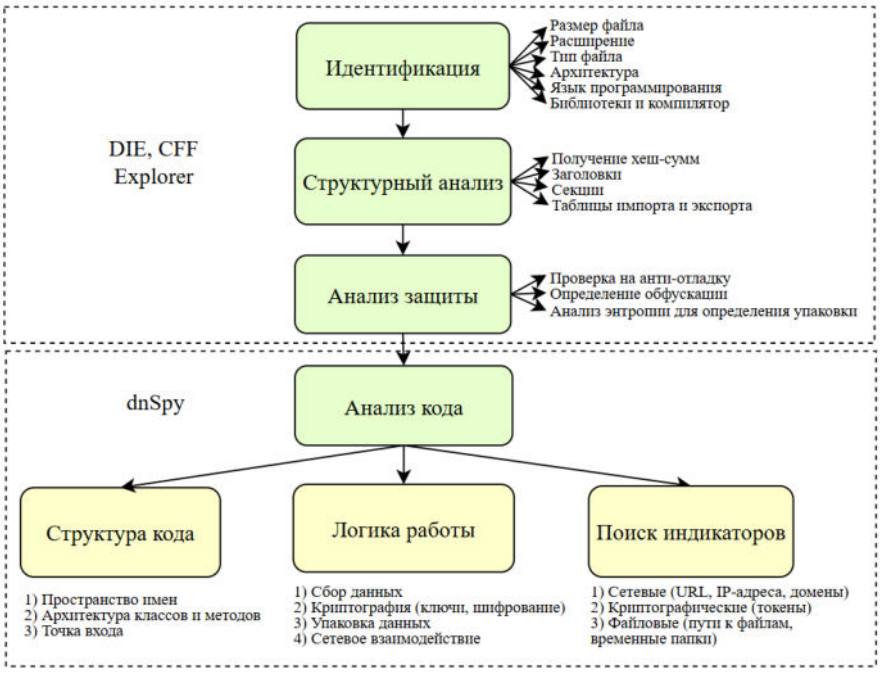


Рис. 1. Методология статического анализа ВПО

Динамический анализ, в свою очередь, представляет собой метод, при котором анализ программного кода происходит во время его выполнения [3]. В процессе динамического исследования происходит мониторинг файловой системы, реестра, процессов и сетевой активности. На данном этапе могут быть использованы такие программы, как Process Hacker 2, Process Monitor и Wireshark.

Порядок действий во время динамического анализа можно изобразить в виде схемы, представленной на рис. 2.

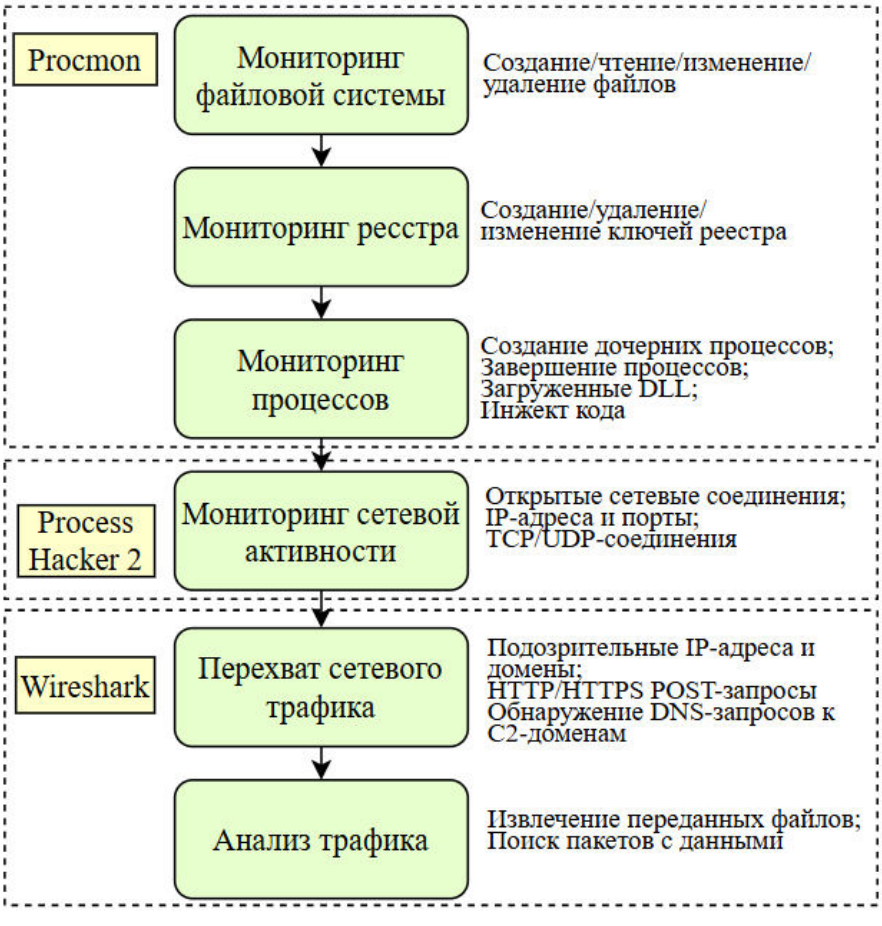


Рис. 2. Методология динамического анализа

Таким образом, методология подробно раскрывает принципы использования различных инструментов на различных этапах реверсивного анализа ВПО. Возможно детально изучить ВПО и получить полную информацию о внутреннем устройстве вредоносной программы.

3. Реверсивный анализ Phemedrone

Для исследования ВПО Phemedrone был загружен образец с ресурса MalwareBazaar от 14 августа 2025 г. Следуя методологии, анализ начался с первичного исследования с помощью DIE и CFF Explorer.

В ходе начального статического анализа было установлено, что файл представляет собой исполняемый 32-битный PE-файл с расширением .exe, предназначенный для Windows. Было выявлено, что вредоносное ПО разработано на языке программирования C# с использованием платформы .NET Framework, на что также указывает наличие характерной библиотеки mscoree.dll. Также было выявлено наличие признаков механизмов противодействия анализу, включая антивиртуализацию, а также отсутствие явных упаковщиков.

Все полученные результаты показаны в табл. 1 и служат обоснованием для дальнейшего использования dnSpy.

Таблица 1

Данные, выявленные с помощью DIE и CFF Explorer

Тип файла	PE-32, GUI-приложение
Размер файла и расширение	.exe, размер – 276,5Кб
Определение даты компиляции	–
Архитектура	I386 (32-бит)
Язык программирования	C#
Библиотеки и компилятор	.NET Framework 4.7.2, Microsoft Linker
Заголовки и секции	Хеш PE-заголовка, 3 секции: «.text», «.rsrc», «.reloc»
Таблицы импорта / экспорта	Импорт одной DLL – mscoree.dll

Дальнейшее углубленное статическое исследование образца с помощью dnSpy позволило восстановить внутреннюю логику работы Phemedrone. Было установлено, что основная логика стилера сосредоточена в методе Program.Main(). На начальном этапе происходит загрузка IP и порта C2-сервера, а также взятие внешнего IP-адреса компьютера жертвы. IP-адрес необходим для того, чтобы использовать его в качестве имени для ZIP-архива, в который затем помещаются все данные, украденные с компьютера. Во встроенных ресурсах сборки удалось выяснить, что IP C2-сервера: 45.141.151.174, а порт: 9000.

После создания ZIP-архива запускается метод CreateReport(), который инициализирует сбор данных. Здесь реализован запуск методов, отвечающих за кражу криптокошельков, создание скриншота, сбор данных из игр, социальных сетей, VPN, а затем добавление всех данных в архив. Данный метод показан на рис. 3.

```
if (Report.CreateReport(text2))
{
    Program.Misc(publicIp);
    new WebClient();
    Directory.GetFiles(text2, "*.*", SearchOption.AllDirectories);
    Program.GetWallets(text2);
    Program.CaptureDesktopScreenshot(text2);
    ZipStorer zipStorer = ZipStorer.Create(text, null);
    Program.GameUtils.ExtractAll();
    Program.Socials.Run();
    Program.VPN.Extract();
    zipStorer.AddDirectory(ZipStorer.Compression.Deflate, text2, null, null);
    zipStorer.Close();
```

Рис. 3. Инициализация кражи из всех источников и создание ZIP-архива

Отдельно реализована кража данных из Discord, браузеров Chrome, Edge, а также происходит проверка наличия криптокошельков MetaMask и Exodus, при нахождении которых создаются файлы-маркеры. В конечном итоге, после завершения сбора данных, программа формирует итоговый архив и инициирует его передачу на сервер злоумышленника.

Для получения дополнительной информации был проведен динамический анализ, который позволил наблюдать поведение Phemedrone во время выполнения программы и зафиксировать изменения, вносимые в файловую систему, системный реестр, процессы и сетевые соединения.

В ходе исследования было установлено, что после запуска стилер создает временные файлы в директории TEMP, где также формируется архив для хранения всех похищенных данных. Динамический анализ подтвердил доступ вредоносной программы к файлам браузеров,

содержащим учетные данные и cookie-файлы, а также было зафиксировано создание снимка экрана рабочего стола. Содержимое папки TEMP показано на рис. 4.

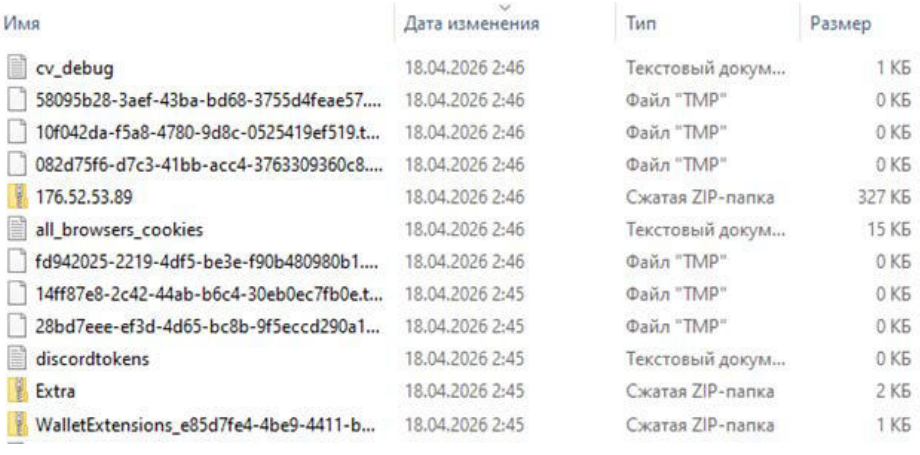


Рис. 4. Содержимое папки TEMP

На рис. 5 представлено, что Process Monitor показал создание двух дочерних процессов cmd.exe и msedge.exe, что говорит о выполнении вспомогательных операций, связанных с доступом к системным ресурсам и данным браузеров. Дополнительно была зафиксирована активность в системном реестре, включая создание, изменение и удаление ключей в Restart Manager и bam\State, что указывает на попытки временного управления доступом к заблокированным ресурсам и сокрытия следов выполнения ВПО.

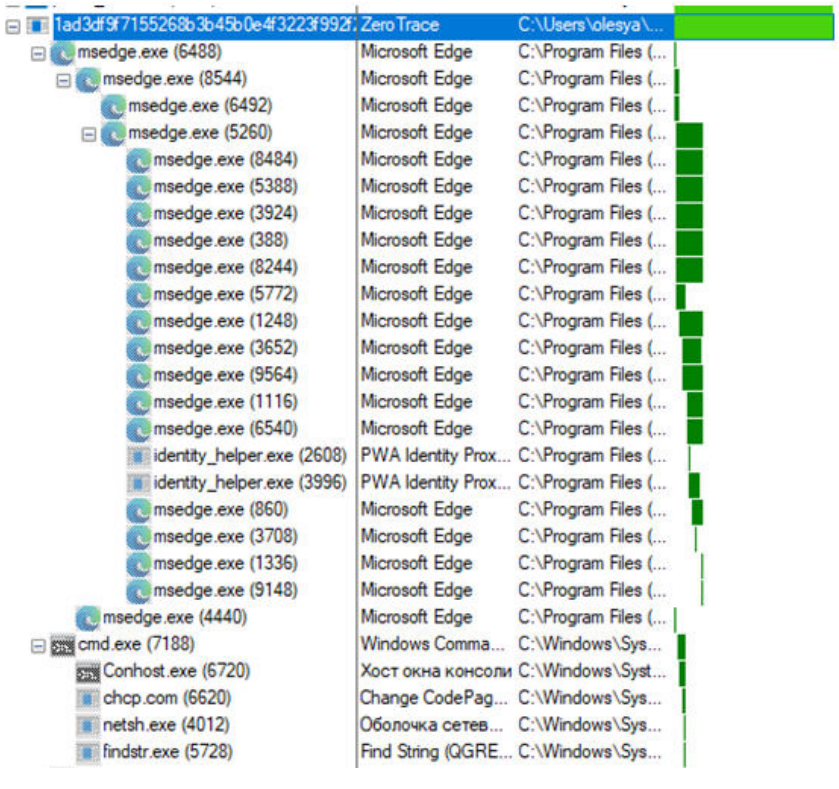


Рис. 5. Дерево процессов в Process Monitor

Сетевой анализ с помощью Process Hacker 2 и Wireshark подтвердил попытки установления соединения с сервером злоумышленника по IP-адресу 45.141.151.174 через нестандартный порт 9000. На рис. 6 показано, что вредоносная программа многократно повторяла попытки

подключения, изменяя локальные порты каждые несколько запросов, что говорит о большой настойчивости стилера. Также дополнительный эксперимент показал, что при отсутствии доступа к интернету образец аварийно завершает работу из-за необработанного исключения при попытке получения внешнего IP-адреса.

ip.addr == 45.141.151.174

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Lengt	Info
15499	156.263545700	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 50437 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
16059	157.329890300	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 [TCP Retransmission] 50437 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
16605	159.420676500	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 [TCP Retransmission] 50437 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
17459	163.425385000	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 [TCP Retransmission] 50437 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
17853	171.442071000	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 [TCP Retransmission] 50437 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
18010	175.856315200	45.141.151.174	10.0.2.15	TCP		60 9000 → 50437 [RST, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=65535 Len=0
18336	180.865326300	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 50555 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
22913	181.865565100	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 [TCP Retransmission] 50555 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
36238	183.871278900	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 [TCP Retransmission] 50555 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM
52276	187.880729400	10.0.2.15	45.141.151.174	TCP		66 [TCP Retransmission] 50555 → 9000 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM

Рис. 6. Анализ сетевого трафика стилера в Wireshark

Общий процесс работы Phemedrone можно изобразить в виде схемы, представленной на рис. 7.

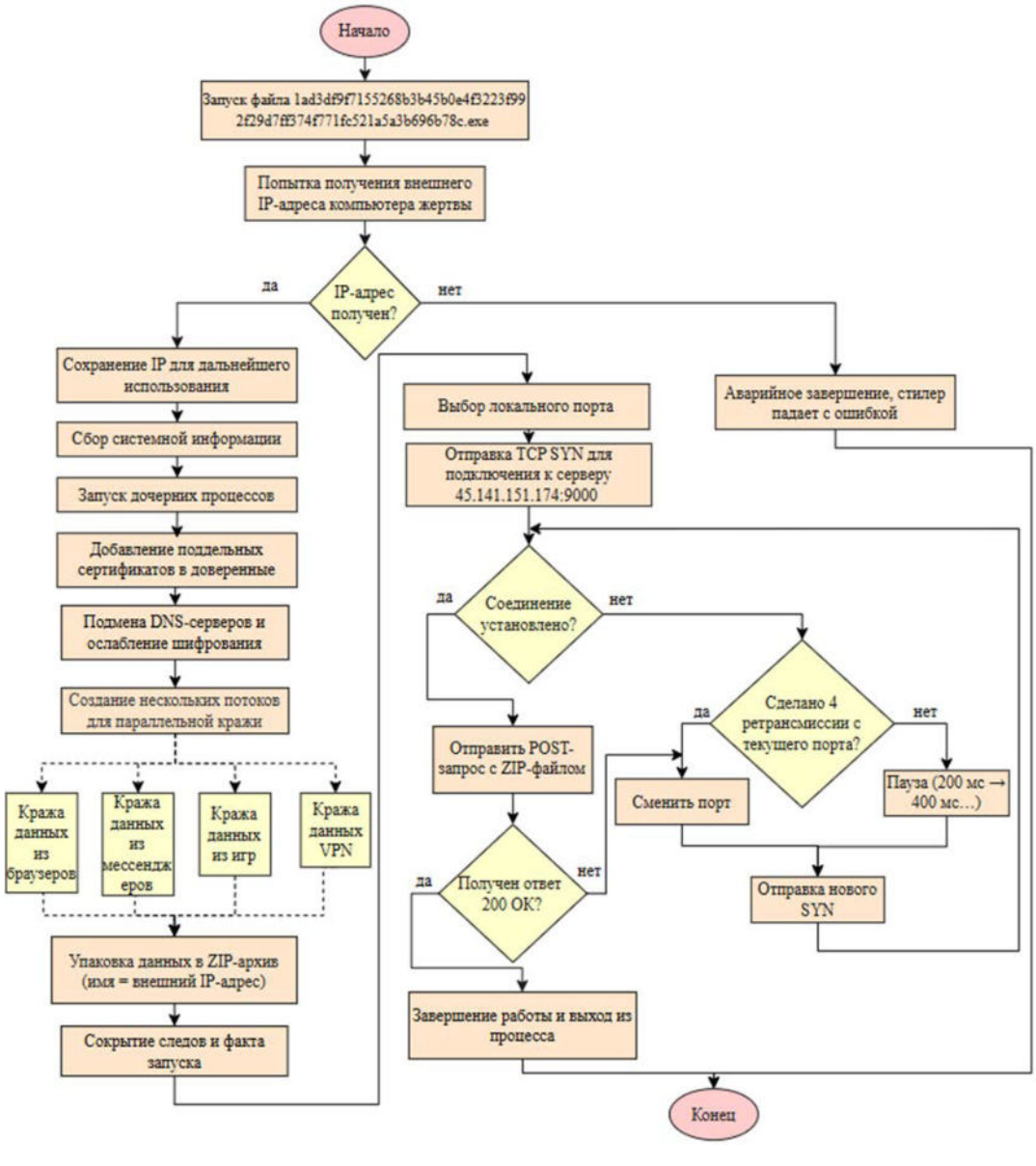


Рис. 7. Блок-схема работы ВПО Phemedrone

4. Сопоставление поведения Phemedrone с матрицей MITRE ATT&CK и формирование мер защиты

Для подведения результатов реверсивного анализа, поведение Phemedrone было сопоставлено с известными тактиками и техниками матрицы MITRE ATT&CK. Результаты приведены ниже в табл. 2.

Таблица 2

Сопоставление поведения Phemedrone с MITRE ATT&CK

Тактика	Техника	Реализация в стилере
Изучение	T1082 – Обнаружение системной информации	Сбор информации о системе через WMI
	T1614 – Определение геопозиции системы	Метод для взятия геолокации
Получение учетных данных	T1555.003 – Получение учетных данных из веб-браузеров	Кража сохраненных паролей
	T1539 – Кража cookie-файлов веб-сессии	Извлечение cookies и токенов авторизации
Сбор данных	T1113 – Создание снимков экрана	Создание скриншота рабочего стола
Выполнение	T1059.003 – Интерпретатор команд Windows	Запуск процесса cmd.exe
Уклонение от защиты	T1112 – Изменение реестра	Изменение параметров системного реестра
	T1070 – Удаление индикаторов	Удаление следов активности
	T1497 – Обход виртуальной среды и песочниц	Есть функция проверки виртуальной среды, но пока что в стадии разработки
Командование и контроль	T1571 – Нестандартный порт	Использование порта 9000
Эксфильтрация	T1041 – Эксфильтрация через канал управления	Передача украденных данных на удаленный сервер

Для каждой техники существуют свои меры противодействия, позволяющие уменьшить вред, нанесенный стилером, на основе чего были сформированы следующие меры защиты:

– мониторинг WMI-запросов и поведенческий анализ для выявления сбора системных данных;
– контроль подозрительных обращений к IP и сервисам геолокации;
– ограничение хранения паролей в браузерах;
– использование менеджеров паролей и MFA для защиты учетных данных;
– очистка cookies и завершение сессий для предотвращения кражи токенов;
– сокрытие чувствительных данных на экране и контроль доступа к API захвата экрана;
– мониторинг запусков cmd.exe и PowerShell;
– контроль системных веток реестра и ограничение прав пользователей;
– централизованный сбор логов и мониторинг безопасности;
– выявление попыток удаления следов активности через SIEM;
– использование реалистичных виртуальных сред;
– мониторинг нестандартных портов и подозрительных соединений;
– фильтрация исходящего трафика через firewall, IDS/IPS для предотвращения утечки данных [6].

Таким образом, применение MITRE ATT&CK позволило структурировать результаты реверсивного анализа и сформировать меры защиты от данного типа ВПО.

5. Выводы

В ходе работы был рассмотрен процесс реверсивного анализа вредоносного программного обеспечения класса стилер на примере образца Phemedrone. Применение разработанной методологии, основанной на сочетании статического и динамического анализа, позволило выявить особенности архитектуры ВПО и ключевые этапы функционирования, а также определить методы его взаимодействия с системой. В результате исследования были определены основные используемые техники, сопоставленные с матрицей MITRE ATT&CK, что позволило формализовать поведение Phemedrone. На основе полученных данных был сформирован комплекс мер защиты, направленный на обнаружение и предотвращение подобных атак.

Список литературы

1. Аникин, И. В. Реверсивный анализ вредоносного программного обеспечения RACCOON STEALER / И. В. Аникин, Я. С. Исяндавлетова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4. – С. 1-14.

2. Omar M. et al. Reverse-engineering malware // Cybersecurity Capabilities in Developing Nations and Its Impact on Global Security. – IGI Global Scientific Publishing, 2022. – С. 194-217.

3. Швецов, И. В. Уязвимости программного кода / И. В. Швецов, В. А. Ткаченко, Т. Г. Кочемас // Информационные системы, экономика и управление : Ученые записки. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), 2023. – С. 109-117. – EDN QIYSFF.

4. Rashmitha B. et al. Malware analysis and detection using reverse Engineering // International Journal of Computer Science and Information Technology Research. – 2022. – Т. 10. – №. 2. – С. 1-4.

5. Tiwari H. Reverse engineering with dnspy: a comprehensive guide. – https://insights2techinfo.com/reverse-engineering-with-dnspy-a-comprehensive-guide-2/ [Электронный доступ] (дата обращения 26.06.2026).

6. Зуфарова, А. С. Что такое MITRE ATT&CK: разбор популярной тактической модели / А. С. Зуфарова, А. Д. Кошелева // Информатика. Экономика. Управление / Informatics. Economics. Management. – 2025. – №1.

УДК 004.056 + 621.391.82

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДВУХТРАНЗИСТОРНОГО РАДИОМИКРОФОНА КАК ИСТОЧНИКА УТЕЧКИ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Захарова А.В., студент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

INVESTIGATION OF UNINTENTIONAL ELECTROMAGNETIC EMISSIONS OF A TWO-TRANSISTOR RADIO MICROPHONE AS A SOURCE OF ACOUSTIC INFORMATION LEAKAGE

Zakharova A.V., Student of the Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ) как один из технических каналов утечки информации. Анализируется физическая природа возникновения паразитных излучений в радиоэлектронной аппаратуре. На примере двухкаскадного радиомикрофона исследуется спектр излучений на основной частоте и её гармониках. Экспе-

риментально подтверждено наличие второй гармоники на частоте 197,4 МГц, которая может быть использована для несанкционированного съёма информации. Предлагаются меры защиты от утечки информации через ПЭМИ, включая экранирование, фильтрацию и оптимальную трассировку печатных плат.

Ключевые слова: побочные электромагнитные излучения, ПЭМИ, утечка информации, технический канал, гармоники, электромагнитная совместимость, защита информации, экранирование

Abstract

The article discusses unintentional electromagnetic emissions (UEE) as one of the technical channels of information leakage. The physical nature of spurious emissions in radio electronic equipment is analyzed. Using a two-stage radio microphone as an example, the emission spectrum at the fundamental frequency and its harmonics is investigated. The presence of the second harmonic at 197,4 MHz, which can be used for unauthorized information retrieval, is experimentally confirmed. Protection measures against information leakage through UEE are proposed, including shielding, filtering and optimal printed circuit board routing.

Keywords: unintentional electromagnetic emissionss, UEE, information leakage, technical channels, harmonics, electromagnetic compatibility, information protection, shielding

Введение

Радиоэлектронные устройства, работающее на высоких частотах, является источником электромагнитного излучения. Наряду с основным рабочим сигналом возникают побочные электромагнитные излучения (далее – ПЭМИ), которые могут содержать информацию об обрабатываемых сигналах [1]. Эта информация может быть перехвачена злоумышленником на значительном расстоянии и использована для восстановления конфиденциальных данных.

Побочные электромагнитные излучения создают технический канал утечки информации, который является одним из наиболее сложных для выявления и устранения. Особенно это актуально для оборудования, обрабатывающего конфиденциальную информацию: компьютеров, систем шифрования, устройств речевой связи. Проблема усугубляется тем, что ПЭМИ могут возникать на частотах, значительно отличающихся от рабочих частот устройства, что затрудняет их обнаружение стандартными средствами радиомониторинга [2].

Актуальность исследования связана с необходимостью разработки эффективных мер защиты от утечки информации через ПЭМИ. Для этого необходимо понимать физическую природу возникновения паразитных излучений, их частотные и энергетические характеристики, а также уметь прогнозировать возможные каналы утечки на этапе проектирования аппаратуры [3].

Цель работы – экспериментально исследовать спектр побочных электромагнитных излучений двухкаскадного радиомикрофона и оценить возможность их использования для несанкционированного съёма информации.

Для достижения цели решались следующие задачи:

– собрать макет двухкаскадного радиомикрофона и исследовать его спектр излучения;
– идентифицировать гармоники основного сигнала;
– оценить возможность приёма сигнала на гармонических частотах;
– проанализировать причины возникновения ПЭМИ;
– предложить меры защиты от утечки информации через ПЭМИ.

Физическая природа побочных электромагнитных излучений

Известно, что побочные электромагнитные излучения возникают по ряду причин, основными из которых являются [4]:

1. Нелинейность активных элементов. Транзисторы, диоды и другие полупроводниковые приборы имеют нелинейные вольт-амперные характеристики. При прохождении высоко-

частотного сигнала через нелинейный элемент возникают гармоники – колебания с частотами, кратными основной частоте сигнала.

2. Паразитные колебания. В радиоэлектронных схемах при определённых условиях могут возникать паразитные генерации на частотах, не связанных с основным рабочим сигналом. Эти колебания возникают из-за наличия паразитных обратных связей через цепи питания, общие шины, паразитные ёмкости и индуктивности монтажа.

3. Излучение соединительных проводников. Любой проводник, по которому протекает высокочастотный ток, является антенной. Соединительные провода, дорожки печатной платы и выводы компонентов могут излучать как основной сигнал, так и его гармоники.

4. Интермодуляционные искажения. При наличии нескольких сигналов в нелинейном элементе возникают интермодуляционные продукты – колебания с частотами, равными суммам и разностям частот исходных сигналов. В случае двухкаскадного генератора интермодуляционные продукты могут возникать при взаимодействии основного сигнала с сигналами наводок.

В исследуемой схеме основными источниками паразитных излучений являются (рис. 1):

– транзистор VT1 (микрофонный усилитель, работающий в нелинейном режиме при перегрузке);

– транзистор VT2 (генерирует гармоники из-за нелинейности, работая в режиме ВЧ-генератора);

– антенна WA1 (излучает на основной частоте и гармониках);

– соединительные провода (антенный эффект);

– катушка индуктивности (может излучать на частотах, близких к резонансной).

Методика экспериментального исследования ПЭМИ

Для исследования спектра побочных электромагнитных излучений использовалась установка, состоящая из:

– двухкаскадного радиомикрофона, представленного на рис. 1;

– портативного анализатора спектра TinySA ULTRA+ ZS407;

– измерительной антенны (телескопическая антенна приёмника).

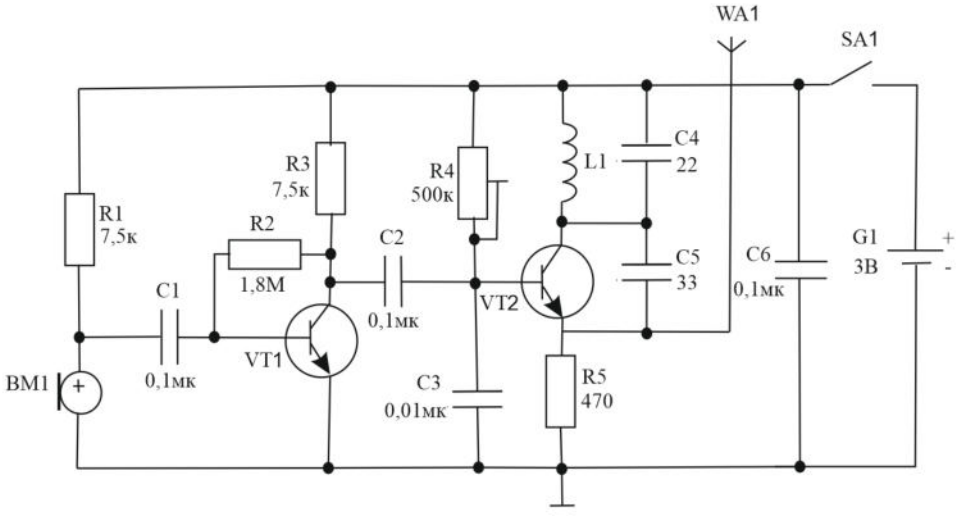


Рис. 1. Принципиальная схема исследуемого генератора

Методика эксперимента:

1. Генератор размещался на расстоянии 5 метров от приёмной антенны.

2. Анализатор спектра последовательно перестраивался по диапазону для поиска сигналов на частотах, кратных основной частоте генерации. Для идентификации гармоник использовалась функция маркеров.

3. При обнаружении сигнала фиксировались его частота и уровень мощности.

4. Для подтверждения происхождения сигнала проверялось его поведение при отключении питания генератора.

Ожидаемые и обнаруженные частоты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Ожидаемые и обнаруженные частоты

Вид сигнала	Ожидаемая частота	Обнаружение	Уровень сигнала, дБм
Основной сигнал	98,7 МГц	+	-43
Вторая гармоника	197,4 МГц	+	-64
Третья гармоника	296,1 МГц	–	< -85
Субгармоника	~49,4 МГц	–	< -85

Результаты экспериментального исследования

В результате эксперимента были получены следующие данные:

Основной сигнал. Уверенно принимался на частоте 98,7 МГц.

Вторая гармоника. На частоте 197,4 МГц (вдвое выше основной) также зафиксирован сигнал. Уровень сигнала значительно ниже основного, но достаточен для уверенного приёма профессиональным оборудованием. Это означает, что злоумышленник может вести приём сигнала на частоте второй гармоники, если основная частота занята или если на ней ведётся поиск.

Третья гармоника. На частоте 296,1 МГц сигнал не обнаружен. Это объясняется тем, что уровень гармоник быстро убывает с ростом номера гармоники. Обычно уровень n-й гармоники пропорционален $1/n^2$ [5], поэтому третья гармоника оказывается ниже уровня собственных шумов анализатора спектра.

Субгармоника. На частоте около 49,4 МГц (половина основной) сигнал не обнаружен, что подтверждает корректную работу схемы генерации.

Полученный спектр излучения генератора представлен на рис. 2.



Рис. 2. Спектр излучения двухкаскадного генератора

Анализ угроз и оценка рисков

Обнаружение второй гармоники на частоте 197,4 МГц позволяет сделать следующие выводы:

1. Расширение частотного диапазона для перехвата. Злоумышленник может вести приём не только на основной частоте, но и на частотах гармоник.

2. Скрытый канал передачи. Наличие гармоник может использоваться для создания скрытых каналов передачи данных. Например, модулируя сигнал на основной частоте, можно передавать информацию на гармонике, которая будет менее заметна для систем радиомониторинга.

3. Повышение вероятности обнаружения. С другой стороны, наличие гармоник увеличивает вероятность обнаружения закладного устройства, так как оно излучает на нескольких частотах одновременно. Специалист по ИБ может использовать это для повышения эффективности поиска.

Меры защиты от утечки информации через ПЭМИ

На основе проведённого анализа можно сформулировать следующие меры защиты от утечки информации через побочные электромагнитные излучения:

1. Экранирование. Наиболее эффективный метод борьбы с ПЭМИ. Высокочастотные узлы оборудования должны размещаться в экранирующих корпусах из металла с хорошей проводимостью. Экранирование позволяет снизить уровень излучения на 30–60 дБ [6].

2. Фильтрация. Для подавления высших гармоник используются фильтры низких частот на выходе генератора. Фильтры должны быть настроены на пропускание основной частоты и подавление гармоник на 20–40 дБ [7]. В простейшем случае это может быть LC-фильтр или фильтр на основе ферритовых колец.

3. Оптимальная трассировка печатных плат. При проектировании печатных плат необходимо минимизировать паразитные ёмкости и индуктивности [8]. Рекомендуется:

– использовать сплошной слой земли;

– минимизировать длину высокочастотных проводников;

– размещать компоненты с учётом развязки по высокочастотным цепям;

– разделять цепи питания первого и второго каскадов с помощью RC-фильтров.

4. Выбор режима работы транзистора. Работа транзистора в режиме класса А снижает уровень гармоник по сравнению с классами В и С. Однако это увеличивает потребление и снижает КПД, что не всегда приемлемо [9].

5. Применение ферритовых фильтров. Ферритовые фильтры на соединительных проводах позволяют подавить излучение на высоких частотах. Они эффективно работают в диапазоне от 10 до 1000 МГц, снижая уровень излучения на 10–20 дБ [10].

Заключение

В результате проведённого исследования был проанализирован спектр побочных электромагнитных излучений двухкаскадного радиомикрофона, выполненного по схеме микрофонный усилитель и LC-генератор с емкостной связью.

Основные выводы:

1. Экспериментально подтверждено наличие второй гармоники на частоте 197,4 МГц, которая может быть использована для несанкционированного съёма информации. Уровень сигнала на второй гармонике (-64 дБм) достаточен для уверенного приёма профессиональным оборудованием.

2. Установлено, что основными причинами возникновения ПЭМИ являются нелинейность транзистора, паразитные ёмкости и индуктивности монтажа, а также недостаточная развязка между каскадами по цепям питания, приводящая к проникновению ВЧ-сигнала из генераторного каскада в микрофонный усилитель и обратно.

3. Предложены меры защиты от утечки информации через ПЭМИ, включающие экранирование, фильтрацию, грамотную трассировку печатных плат, развязку каскадов по питанию.

Научно-практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы при проектировании систем защиты информации от утечки через побочные каналы, а также в учебном процессе при изучении технических каналов утечки информации и методов противодействия им.

Список литературы

1. Хорев, А. А. Программно-аппаратные комплексы радиоконтроля для выявления электронных устройств перехвата акустической речевой информации / А. А. Хорев // Специальная техника. – 2017. – № 2. – С. 49-63. – EDN YPYHHH.

2. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97-103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010. – EDN PHWCRQ.

3. Захарова, А. В. Моделирование однотранзисторного передатчика в среде NI Multisim / А. В. Захарова, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели : Междунар. науч.-практ. конф. – Казань : КГЭУ, 2026. – С. 1994–1997.

4. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28–34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34.

5. Захарова, А. В. Методика выполнения лабораторной работы «Радиозакладные устройства перехвата речевой информации» / А. В. Захарова, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели : Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Казань: КГЭУ, 2026. – С. 2002–2005.

6. Garaeva A., Makhmutova F., Anikin I., Sattler K.-U. A framework for co-location patterns mining in big spatial data // Proceedings of 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). – St. Petersburg: IEEE, 2017. – С. 477–480. – DOI: 10.1109/SCM.2017.7970622.

7. Шарипов, Р. Р. Разработка программно-лабораторного комплекса для изучения кодирования информации методом Хаффмана / Р. Р. Шарипов, Е. Д. Ожмекова, М. Ю. Перухин // Computational Nanotechnology. – 2026. – Т. 13, № 1. – С. 167-174. – DOI 10.33693/2313-223X-2026-13-1-167-174. – EDN NCCSUC.

8. Захарова, А. В. Методы исследования радиозакладных устройств / А. В. Захарова, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели : Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Казань: КГЭУ, 2026. – С. 1998–2001.

9. Nguyen, T. T. Trust-aware semantic data Virtualization for decentralized systems with context-adaptive query orchestration / T. T. Nguyen, Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 102, № 5-5. – P. 117-127. – DOI 10.36871/26189976.2026.05-5.010. – EDN XRFZFC.

10. Адаменко, М. В. Шпионские штучки, или Секреты тайной радиосвязи / М. В. Адаменко. – Москва : ДМК Пресс, 2010. – 155 с. – ISBN 978-5-94074-601-0.

УДК 004.056

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОДНОТРАНЗИСТОРНОГО РАДИОМИКРОФОНА КАК ИСТОЧНИКА ТЕХНИЧЕСКОГО КАНАЛА УТЕЧКИ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Захарова А.В., студент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF A SINGLE-TRANSISTOR RADIO MICROPHONE AS A SOURCE OF A TECHNICAL CHANNEL OF ACOUSTIC INFORMATION LEAKAGE

Zakharova A.V., Student of the Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматривается один из наиболее распространённых технических каналов утечки акустической информации – несанкционированная передача речевых сигналов через радиозакладные устройства малой мощности. Описывается принцип работы типового однотранзисторного радиомикрофона, выполненного по схеме ёмкостной трёхточки, приводится его электрическая схема и перечень компонентов. Особое внимание уделяется экспериментальной проверке возможности обнаружения такого устройства с использованием метода индикаторного приёма. Для определения частоты генерации применяется широкодиапазонный профессиональный приёмник. Полученные результаты позволяют выработать рекомендации для поиска акустических радиозакладных устройств на объектах защиты.

Ключевые слова: технический канал утечки информации, радиозакладное устройство, радиомикрофон, однотранзисторный генератор, радиомониторинг, обнаружение, индикаторный приём, специальная проверка

Abstract

The article discusses one of the most common technical channels of acoustic information leakage – unauthorized transmission of speech signals via low-power radio bugging devices. The operating principle of a typical single-transistor radio microphone implemented using a capacitive three-point circuit is described; its electrical schematic and a complete list of components are presented. Special attention is paid to the experimental verification of the possibility of detecting such a device using the indicator reception method. A wide-range professional receiver is used to determine the generation frequency. The obtained results allow formulating recommendations for the searche of acoustic radio bugging devices at protected facilities.

Keywords: technical channel of information leakage, radio bugging device, radio microphone, single-transistor generator, radio monitoring, detection, indicator reception, special inspection

Введение

Одной из актуальных задач в области технической защиты информации является противодействие несанкционированному съёму акустической (речевой) информации с помощью радиозакладных устройств. Такие устройства, известные также как «жучки», представляют собой миниатюрные радиопередатчики, которые устанавливаются в охраняемых помещениях и передают перехваченные речевые сигналы на приёмный пункт злоумышленника [1]. По данным открытых источников, около 60% случаев утечки конфиденциальной информации происходит именно через технические каналы, и значительная доля из них приходится на радиозакладные устройства [2].

Особую опасность представляют маломощные радиозакладные устройства, собранные на одном транзисторе. Их преимущества для злоумышленника очевидны: простота конструкции, низкая стоимость (себестоимость радиоэлементов для подобного устройства не превышает 100 рублей), малые габариты (схема может быть выполнена на плате размером 2×3 см) и низкое энергопотребление (ток потребления составляет 5–15 мА), что позволяет маскировать их в бытовых предметах или элементах строительных конструкций [3]. Несмотря на кажущуюся примитивность, такие устройства способны эффективно передавать речевую информацию на расстояние до нескольких десятков метров, что делает их реальной угрозой для конфиденциальных переговоров.

Для эффективного противодействия подобным угрозам специалист по информационной безопасности должен:

– понимать физические принципы работы радиозакладных устройств;
– знать их типовые схемотехнические решения;
– владеть методами их обнаружения и локализации;
– уметь отличать сигналы закладных устройств от легитимных радиоизлучений.

В настоящее время основным методом выявления радиозакладных устройств является радиомониторинг – поиск и анализ сигналов в широком диапазоне частот [4]. Однако эффективность такого поиска напрямую зависит от понимания того, на каких частотах могут работать закладные устройства и как их сигналы отличаются от сигналов легитимных радиоэлектронных средств. Проблема усугубляется тем, что многие закладные устройства работают в диапазоне FM-радиовещания (88–108 МГц), где несущая сигнала находится в диапазоне известных радиостанций [5].

Цель работы – экспериментально исследовать параметры типового однотранзисторного радиомикрофона как элемента, создающего технический канал утечки акустической информации, и обосновать методику его обнаружения методом индикаторного приёма.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– собрать макет типового однотранзисторного передатчика, выполненного по схеме ёмкостной трёхточки;

– выполнить расчёт ожидаемой частоты генерации на основе параметров колебательного контура с использованием формулы Томсона;

– экспериментально проверить работоспособность устройства и определить его реальную рабочую частоту с помощью широкодиапазонного приёмника AOR AR-5000A;

– сформулировать практические рекомендации по обнаружению подобных устройств при проведении специальных проверок помещений и объектов информатизации.

Радиопередатчик на одном транзисторе

Рассматриваемая в работе схема (рис. 1) представляет собой классический вариант маломощного радиопередатчика, выполненного по схеме ёмкостной трёхточки. Это одна из самых распространённых схем для самодельных радиозакладок, поскольку она обеспечивает стабильную генерацию при минимальном количестве компонентов (всего 11 пассивных элементов и один транзистор).

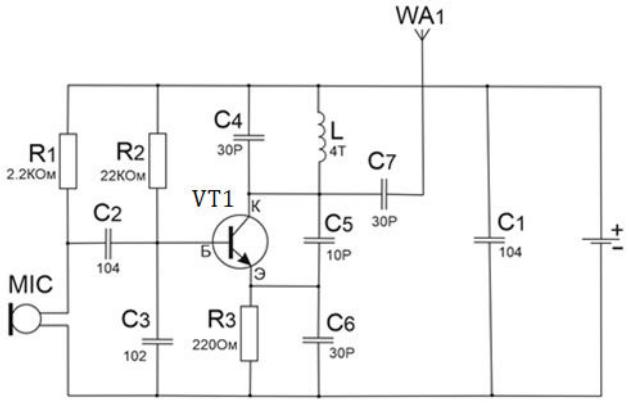


Рис. 1. Схема однотранзисторного радиопередатчика

На схеме присутствуют следующие элементы:

1) MIC-электретный микрофон, который является датчиком для перехвата акустической информации. Речевой сигнал, попадая на микрофон, преобразуется в электрические колебания звуковой частоты, которые затем модулируют работу генератора;

2) VT1-транзистор, активный элемент, выполняющий роль усилителя и обеспечивающий поддержание незатухающих колебаний в контуре. У транзистора S9018 высокая граничная частота (до 1,1 ГГц) и малая входная ёмкость, что делает его годным для усиления сигналов FM-диапазона;

3) Колебательный контур (L, C4, C5, C6) задаёт частоту генерации. От её значения зависит, в каком диапазоне следует искать сигнал при проведении радиомониторинга;

4) WA1-антенна. В качестве антенны используется отрезок провода длиной около 20 см.

Внешний вид собранного макета представлен на рис. 2.

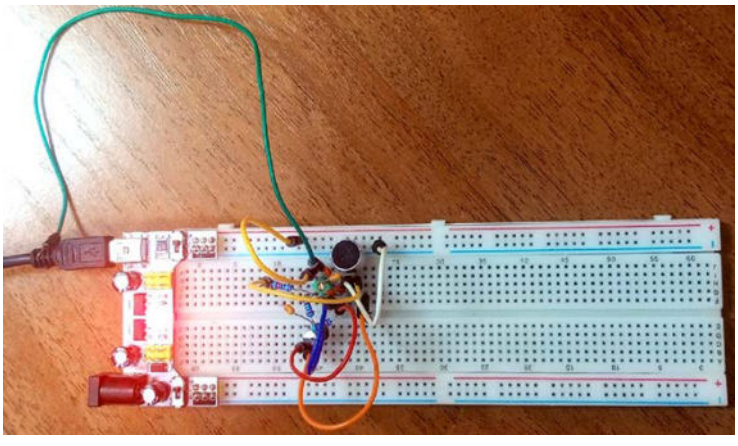


Рис. 2. Внешний вид собранного макета радиопередатчика

В табл. 1 приведён перечень компонентов, использованных при сборке макета. Все компоненты можно приобрести в любом магазине радиодеталей или заказать через Интернет.

Таблица 1

Перечень компонентов радиозакладного устройства

Обозначение	Наименование	Номинал	Примечание
MIC	Электретный микрофон	–	Чувствительность -40 дБ
VT1	Транзистор NPN	S9018	$f_{гр}$ = 1,1 ГГц
L	Катушка индуктивности	4 витка	Без сердечника, диаметр 5 мм
R1	Резистор	2,2 кОм	Питание микрофона
R2	Резистор	22 кОм	Смещение базы
R3	Резистор	220 Ом	Эмиттерная стабилизация
C1	Керамический конденсатор	104 (0,1 мкФ)	Блокировка питания
C2	Керамический конденсатор	104 (0,1 мкФ)	Разделительный
C3	Керамический конденсатор	102 (1 нФ)	ВЧ-шунт базы
C4	Керамический конденсатор	30 пФ	Контурный
C5	Керамический конденсатор	10 пФ	Контурный
C6	Керамический конденсатор	30 пФ	Контурный
C7	Керамический конденсатор	30 пФ	Обратная связь
WA1	Антенна	Провод 20 см	Медный провод
–	Источник питания	9 В	Батарея «Крона»

Расчёт несущей частоты передатчика

Рассчитаем несущую частоту радиопередатчика. Частота несущей определяется колебательным контуром, образованным катушкой L и конденсаторами C_4, C_5 и C_6.

В схеме ёмкостной трёхточки конденсаторы C_5 и C_6 включены последовательно, поэтому их эквивалентная ёмкость составляет:

$$C_{5,6} = \frac{C_5 * C_6}{C_5 + C_6} = \frac{10*30}{10+30} = 7{,}5 \text{ пФ}.$$

Общая эквивалентная ёмкость колебательного контура (с учётом параллельного включения C_4):

$$C_{экв} = C_4 + C_{5,6} = 30 + 7{,}5 = 37{,}5 \text{ пФ}.$$

Для расчёта частоты используется формула Томсона, которая является основной для расчёта частоты LC-генераторов:

$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * C_{экв}}}.$$

При индуктивности катушки L ≈ 0,1 мкГн ($0{,}1 \cdot 10^{-6}$ Гн) и ёмкости 37,5 пФ получаем:

$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{0{,}1 * 10^{-6} * 37{,}5 * 10^{-12}}} = \frac{1}{2\pi * \sqrt{3{,}75 * 10^{-18}}}$$
$$= \frac{1}{2 * 3{,}14 * 1{,}936 * 10^{-9}} \approx 82{,}2 \text{ МГц}$$

Таким образом, ожидаемая частота генерации составляет приблизительно 82,2 МГц. Это значение попадает в диапазон FM-радиовещания (88–108 МГц).

На практике реальная частота почти всегда отличается от расчётной ввиду следующих причин [6]:

– разброс номиналов конденсаторов (керамические конденсаторы имеют допуск ±10–20%);

– паразитные ёмкости монтажа (между дорожками платы, выводами компонентов);

– входная ёмкость транзистора, зависящая от режима работы (обычно 2–5 пФ);

– индуктивность выводов компонентов (особенно для высокочастотных цепей).

Обнаружение передатчика

Для проверки работоспособности собранного макета и его обнаружения применялся метод индикаторного приёма. В профессиональной деятельности по технической защите информации для поиска несанкционированных радиопередатчиков используются широкодиапазонные сканирующие приёмники [7].

В качестве индикаторного устройства применялся профессиональный широкодиапазонный приёмник AOR AR-5000A. Его основные характеристики представлены в [8].

Антенна передатчика и антенна приёмника размещались на расстоянии около 5 метров друг от друга, что соответствует реальным условиям обнаружения закладки в помещении (обычно проверка проводится с расстояния 3–10 метров). Сигнал принимался уверенно, что говорит о достаточной мощности передатчика (около 5–10 мВт).

После включения питания и плавной перестройки приёмника в диапазоне, предположительно соответствующем частоте генерации (около 82 МГц), был зафиксирован уверенный приём сигнала. Признаками обнаружения служили:

– отклонение стрелки S-метра до уровня S5–S7;

– появление тонального звука в динамике приёмника;

– изменение уровня шумов при перестройке (эффект «захвата»).

При выключении передатчика сигнал мгновенно пропадал, что подтверждало его происхождение именно от исследуемого устройства. Максимальный уровень сигнала наблюдался на частоте 84,9 МГ (рис. 3).



Рис. 3. Отображение частоты принятого сигнала на AOR AR-5000A

Рекомендации по обнаружению акустических радиозакладных устройств

На основе проведённого эксперимента можно сформулировать следующие практические рекомендации для специалистов по технической защите информации:

1. Проведение превентивного радиомониторинга. Регулярная проверка выделенных помещений на наличие несанкционированных источников радиоизлучения должна стать обязательной процедурой, особенно перед проведением конфиденциальных переговоров.

2. Анализ характерных частот. Необходимо проверять диапазоны, наиболее часто используемые для закладных устройств (30–300 МГц). Особое внимание следует уделять диапазону FM-вещания (88–108 МГц), где сигналы закладок наиболее трудно выделить.

3. Использование профессионального оборудования. Для надёжного обнаружения следует применять сертифицированные приёмники с высокой чувствительностью (не хуже 0,5 мкВ) и возможностью сканирования с малым шагом (не более 1 кГц).

4. Метод индикаторного приёма. Этот метод эффективен для первичного обнаружения, однако для точной локализации источника излучения может потребоваться дополнительное оборудование.

5. Учёт маскирующих факторов. Сигнал с закладки может совпадать с частотами легитимных радиостанций, поэтому необходим проанализировать характер сигнала (модуляция, поведение при отключении питания в помещении и т.д.). Также необходимо учитывать, что современные закладки могут работать в импульсном режиме с псевдослучайной перестройкой частоты [9, 10].

Заключение

В результате проведённой работы был исследован один из распространённых технических каналов утечки акустической информации – передача речевых сигналов через радиозакладные устройства малой мощности.

Основные результаты:

1. Собран и исследован макет типового однотранзисторного радиомикрофона, выполненного по схеме ёмкостной трёхточки, который может использоваться для несанкционированного съёма акустической информации. Установлено, что все использованные компоненты являются широкодоступными и дешёвыми, что делает создание подобных устройств доступным для злоумышленников.

2. Выполнен расчёт частоты генерации по формуле Томсона (82,2 МГц), которая в реальных условиях отличается от измеренной (84,9 МГц) на 3,3%. Это отклонение обусловлено

разбросом параметров компонентов и паразитными ёмкостями монтажа. Данное расхождение необходимо учитывать при настройке поисковой аппаратуры.

3. Экспериментально подтверждена возможность обнаружения работающего радиозакладного устройства методом индикаторного приёма с использованием профессионального широкодиапазонного приёмника на расстоянии до 5 метров. Сигнал уверенно принимался на частоте 84,9 МГц, что подтверждает эффективность метода.

4. Установлено, что сигнал исследуемого устройства попадает в диапазон FM-вещания (84,9 МГц), что затрудняет его выделение среди легитимных радиостанций и требует от специалиста по ИБ проведения дополнительно анализа принятого сигнала.

5. Сформулированы практические рекомендации по обнаружению подобных устройств в ходе специальных проверок объектов защиты.

Научно-практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы при разработке методик выявления несанкционированных радиопередающих устройств, а также в учебном процессе при подготовке специалистов по технической защите информации. Понимание принципов работы радиозакладок и умение их обнаруживать является необходимым для сотрудника по ИБ.

Список литературы

1. Захарова, А. В. Методика выполнения лабораторной работы «Радиозакладные устройства перехвата речевой информации» / А. В. Захарова, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели : Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Казань : КГЭУ, 2026. – С. 2002–2005.

2. Garaeva A., Makhmutova F., Anikin I., Sattler K.-U. A framework for co-location patterns mining in big spatial data // Proceedings of 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). – St. Petersburg: IEEE, 2017. – С. 477–480. – DOI: 10.1109/SCM.2017.7970622.

3. Захарова, А. В. Методы исследования радиозакладных устройств / А. В. Захарова, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели : Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Казань : КГЭУ, 2026. – С. 1998–2001.

4. Шарипов, Р. Р. Разработка программно-лабораторного комплекса для изучения кодирования информации методом Хаффмана / Р. Р. Шарипов, Е. Д. Ожмекова, М. Ю. Перухин // Computational Nanotechnology. – 2026. – Т. 13, № 1. – С. 167-174. – DOI 10.33693/2313-223X-2026-13-1-167-174. – EDN NCCSUC.

5. Захарова, А. В. Моделирование однотранзисторного передатчика в среде NI Multisim / А. В. Захарова, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели : Междунар. науч.-практ. конф. – Казань : КГЭУ, 2026. – С. 1994–1997.

6. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97-103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010. – EDN PHWCRQ.

7. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28–34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34.

8. Адаменко, М. В. Шпионские штучки, или Секреты тайной радиосвязи / М. В. Адаменко. – Москва : ДМК Пресс, 2010. – 155 с. – ISBN 978-5-94074-601-0.

9. Nguyen, T. T. Trust-aware semantic data Virtualization for decentralized systems with context-adaptive query orchestration / T. T. Nguyen, Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 102, № 5-5. – P. 117-127. – DOI 10.36871/26189976.2026.05-5.010. – EDN XRFZFC.

10. Хорев, А. А. Программно-аппаратные комплексы радиоконтроля для выявления электронных устройств перехвата акустической речевой информации / А. А. Хорев // Специальная техника. – 2017. – № 2. – С. 49-63. – EDN YPYHHH.

УДК 004.056

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ СЕТЕВЫХ АТАК В МАЛЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Игонин И.Л., студент;
Хусаинов Р.М., ассистент;
ORCID: 0000-0003-4985-7833;
Юсупов Б.З., ассистент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-0528-0473

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF PROTECTION AGAINST NETWORK ATTACKS IN SMALL INFORMATION SYSTEMS

Igonin I.L., student;
Khusainov R.M., assistant;
ORCID: 0000-0003-4985-7833;
Yusupov B.Z., PhD, assistant of the information security systems department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-0528-0473

Аннотация

Статья посвящена сравнительному анализу методов защиты от сетевых атак в малых информационных системах, которые характеризуются ограниченным бюджетом, упрощенной архитектурой, слабой сегментацией сети, использованием типовых настроек и отсутствием выделенных служб информационной безопасности. Рассмотрены основные угрозы, наиболее характерные для небольших организаций, учебных структур, локальных офисных сетей и автономных цифровых контуров: сканирование портов, сбор служебной информации, перехват и подмена сетевого трафика, подбор учетных данных, атаки на сервисы удаленного доступа, эксплуатация уязвимостей устаревшего программного обеспечения. Отдельное внимание уделено подготовительным этапам атак, которые в малых системах часто остаются незамеченными из-за отсутствия средств мониторинга. Сформулированы ключевые критерии оценки методов защиты: результативность против типовых сетевых атак, стоимость внедрения, сложность настройки и сопровождения (с учетом квалификации персонала), совместимость с существующей инфраструктурой, влияние на производительность сети, скорость обнаружения угроз и устойчивость к типичным ошибкам администрирования. Выполнено практическое сопоставление пяти способов защиты: межсетевой экран, системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS), сегментация сети, многофакторная аутентификация, регулярное обновление программного обеспечения и оборудования. Для наглядного сравнения использована интегральная оценка по 10-балльной шкале. На основе анализа выявлено, что наибольшую суммарную отдачу для малой информационной системы дает не внедрение одного дорогостоящего решения, а комбинация базовых мер: регулярное обновление ПО (8,7 балла), грамотно настроенный межсетевой экран (8,4 балла) и сегментация сети (8,0 балла). Такой подход обеспечивает закрытие типовых уязвимостей, снижение поверхности атаки, ограничение распространения угроз внутри сети и минимизацию последствий инцидентов при минимальных финансовых и организационных затратах. Обосновано, что наиболее надежной стратегией защиты является принцип разумного слоя: сначала закрываются базовые уязвимости, затем усиливается контроль учетных записей и ограничивается распространение атаки, после чего подключаются более чувствительные инструменты анализа трафика. Полу-

ченные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации систем информационной безопасности в малых организациях.

Ключевые слова: малые информационные системы, сетевые атаки, защита информации, аутентификация, обнаружение вторжений

Abstract

This article presents a comparative analysis of network attack protection methods for small information systems characterized by limited budgets, simplified architecture, poor network segmentation, the use of standard settings, and the absence of dedicated information security services. It examines the main threats most common for small organizations, educational institutions, local office networks, and autonomous digital circuits: port scanning, collection of service information, interception and spoofing of network traffic, brute-forcing of credentials, attacks on remote access services, and exploitation of vulnerabilities in outdated software. Particular attention is paid to the preparatory stages of attacks, which often go undetected in small systems due to the lack of monitoring tools. Key criteria for evaluating protection methods are formulated: effectiveness against typical network attacks, cost of implementation, complexity of configuration and maintenance (taking into account personnel qualifications), compatibility with existing infrastructure, impact on network performance, threat detection rate, and resistance to common administrative errors. A practical comparison of five security methods was performed: a firewall, intrusion detection and prevention systems (IDS/IPS), network segmentation, multi-factor authentication, and regular software and hardware updates. For a visual comparison, an integrated assessment on a 10-point scale was used. The analysis revealed that the greatest overall return for a small information system comes not from implementing a single expensive solution, but from a combination of basic measures: regular software updates (8.7 points), a properly configured firewall (8.4 points), and network segmentation (8.0 points). This approach ensures the closure of typical vulnerabilities, a reduced attack surface, limiting the spread of threats within the network, and minimizing the impact of incidents with minimal financial and organizational costs. It is proven that the most reliable security strategy is the intelligent layering principle: first, basic vulnerabilities are closed, then account control is strengthened and the spread of the attack is limited, after which more sensitive traffic analysis tools are deployed. The obtained results can be used in the design and modernization of information security systems in small organizations.

Keywords: small information systems, network attacks, information security, authentication, intrusion detection

Введение

Защита малых информационных систем от сетевых атак приобретает все большее значение на фоне роста числа инцидентов, связанных с несанкционированным доступом, вредоносным сетевым трафиком, подбором паролей и эксплуатацией уязвимостей [1-3]. Небольшие организации, учебные структуры, локальные офисные сети и автономные цифровые контуры нередко используют ограниченный набор технических средств, из-за чего вопрос выбора адекватных методов защиты становится не только техническим, но и организационным [4]. Проблема особенно заметна в условиях, когда ресурсы на построение сложной инфраструктуры безопасности ограничены, а требования к устойчивости сети сохраняются на высоком уровне.

Актуальность темы связана с тем, что малые информационные системы чаще всего не располагают полноценными центрами мониторинга, дорогими средствами фильтрации трафика и расширенными инструментами реагирования. При этом именно такие системы регулярно сталкиваются с типовыми угрозами, среди которых сканирование портов, попытки внедрения вредоносного кода, перехват сетевого обмена и атаки на службы удаленного доступа. В подобных условиях особенно важно не просто перечислить средства защиты, а сопоставить их по эффективности, доступности, сложности внедрения и способности снижать конкретные риски.

Цель и задачи работы

Цель работы заключается в сравнительном анализе методов защиты от сетевых атак в малых информационных системах.

Для достижения поставленной цели решаются две задачи. Первая задача связана с рассмотрением основных видов сетевых атак в малых информационных системах и определением критериев оценки защитных методов. Вторая задача направлена на сопоставление практических способов защиты с точки зрения их применимости, сильных сторон и ограничений в условиях малой информационной системы.

Основные виды сетевых атак в малых информационных системах

Малые информационные системы обычно воспринимаются как относительно простые и локальные по масштабу, однако именно такая среда нередко оказывается уязвимой перед сетевыми атаками. Причина заключается не только в ограниченности бюджета, но и в упрощенной архитектуре, слабой сегментации сети, использовании типовых настроек и редком обновлении программного обеспечения. Для небольшой инфраструктуры даже один успешный инцидент способен привести к остановке рабочих процессов, утечке данных или потере доступа к внутренним ресурсам. По этой причине анализ угроз целесообразно начинать не с перечня защитных средств, а с понимания того, какие атаки наиболее характерны для таких систем и по каким признакам можно оценить эффективность противодействия.

Наиболее распространенную группу составляют атаки, направленные на выявление слабых мест сетевой конфигурации. В эту категорию входят сканирование портов, сбор служебной информации о хостах, определение открытых сервисов и попытки обнаружить уязвимые версии программ. На первый взгляд подобные действия не всегда наносят прямой ущерб, но именно они часто становятся подготовительным этапом для более опасного воздействия. Если в малой системе используются стандартные настройки маршрутизатора, открытый удаленный доступ или устаревший веб-интерфейс администрирования, вероятность дальнейшего компрометирования заметно возрастает.

Отдельного внимания требуют атаки, ориентированные на перехват и подмену сетевого трафика: прослушивание незащищенных соединений, подмена адресов, вмешательство в передачу данных, эксплуатация доверия между узлами сети. В малых информационных системах подобные сценарии возможны при слабой защите Wi-Fi сегмента, отсутствии шифрования, использовании устаревших протоколов и недостаточном контроле внутренних подключений. Опасность таких атак выше, чем может показаться, поскольку злоумышленник получает не только технический доступ к данным, но и возможность скрытого присутствия в инфраструктуре.

Несанкционированный вход через подбор учетных данных так же является одной из основных групп сетевых атак [5]. Чаще всего под данную группу попадают сервисы на подобии почтовых, сервисов удаленного доступа, учетно-контрольные (административные) и корпоративные сети. В малых системах проблема обостряется из-за слабых паролей пользователей, отсутствия ограничения числа попыток входа, двухфакторной аутентификации и централизованного логирования. Как следствие – одна уязвимая точка открывает доступ ко всей сети.

Критерии оценки методов защиты

При сравнении методов защиты целесообразно использовать несколько критериев: результативность, стоимость внедрения, сложность настройки и сопровождения (чрезмерные требования к квалификации обесценивают даже эффективное средство). Также важны совместимость с инфраструктурой, влияние на производительность, скорость обнаружения угроз и устойчивость к типовым ошибкам администрирования. Сопоставление атак и критериев подтверждает отсутствие универсального способа защиты. Разные методы эффективны против внешнего сканирования, контроля доступа или защиты трафика. Предлагаемая логика сравнения позволяет перейти от общего перечня угроз к предметному анализу практически реализуемых решений для малых информационных систем.

Сравнительный анализ практических методов защиты

При сравнении практических методов защиты в малых информационных системах на первый план выходит не количество функций, а реальная применимость. Небольшая сеть редко располагает отдельной командой по информационной безопасности, крупным бюджетом и резервом по вычислительным мощностям. По этой причине наиболее полезными оказываются не самые сложные решения, а такие меры, которые можно внедрить без разрушения рабочей инфраструктуры и поддерживать в стабильном состоянии. Наиболее показательный результат дает сопоставление методов по нескольким критериям. Значение имеют эффективность против типовых сетевых атак, стоимость внедрения, сложность сопровождения и влияние на повседневную работу пользователей [6].

Межсетевой экран остается базовым инструментом защиты и в малых системах нередко дает наиболее заметный эффект уже на начальном этапе. Он позволяет закрыть лишние порты, ограничить доступ к сервисам, задать правила фильтрации по адресам и протоколам. Практическая ценность такого метода особенно велика там, где инфраструктура построена вокруг одного маршрутизатора, одного сервера и нескольких рабочих станций. В такой конфигурации даже минимально грамотная фильтрация заметно сокращает площадь возможной атаки. Недостаток состоит в том, что firewall работает в пределах заранее заданных правил и слабо помогает против атак, маскирующихся под нормальный трафик [7].

Системы обнаружения и предотвращения вторжений дают более глубокий уровень контроля. Они фиксируют аномальную активность, сигнатуры атак и подозрительные сетевые последовательности, которые не всегда выявляются обычной фильтрацией. Для малой информационной системы это особенно полезно при наличии удаленного доступа, веб-интерфейсов и внешних подключений. Вместе с тем такие решения сложнее в настройке. При слабой адаптации к конкретной сети они начинают генерировать избыточные уведомления, а это снижает практическую отдачу. В условиях небольшой инфраструктуры избыточная сложность быстро превращается в проблему не меньшую, чем сама угроза.

Сегментация сети показывает другой подход к защите. Она не столько блокирует атаку на входе, сколько ограничивает ее дальнейшее распространение. Если рабочие станции, точки доступа, серверные узлы и административные устройства разделены, компрометация одного сегмента не приводит автоматически к потере контроля над всей системой. На практике именно этот метод часто дает непропорционально высокий результат по сравнению с затратами. Чуть менее заметным, но очень значимым инструментом выступает многофакторная аутентификация. Она не защищает от всех сетевых угроз, зато резко снижает риск входа по украденным или подобранным паролям, а для малых систем это один из самых частых сценариев компрометации [8].

Для наглядного сопоставления методов целесообразно свести их в таблицу 1 с интегральной оценкой. Баллы являются приближенными и отражают усредненную пригодность метода для малой информационной системы с ограниченным бюджетом и типовыми сетевыми сервисами.

Таблица 1

Сравнительная эффективность методов защиты от сетевых атак в малых информационных системах

Метод защиты	Интегральная эффективность (оценка по 10-балльной шкале)
Межсетевой экран	8,4
IDS или IPS	7,2
Сегментация сети	8,0
Многофакторная аутентификация	7,8
Регулярное обновление ПО и оборудования	8,7

Анализ таблицы 1 позволяет сделать вывод, что наибольшую суммарную отдачу для малой информационной системы дают регулярное обновление программного обеспечения и грамотно настроенный межсетевой экран. Такой результат объясняется просто. Обновления закрывают известные уязвимости, которые чаще всего и становятся точкой входа, а firewall сразу уменьшает доступность сервисов для внешнего нарушителя. Сегментация сети находится немного ниже, но ее значение трудно переоценить при оценке последствий инцидента. Даже если вторжение произошло, разделенная инфраструктура сохраняет часть ресурсов вне зоны поражения [9].

Менее высокий балл IDS или IPS не означает низкую полезность. Причина в другом. Для малой системы такие средства часто оказываются эффективными только при достаточно зрелом администрировании. Без настройки правил, анализа уведомлений и постоянной корректировки они работают заметно хуже своих возможностей [10]. Многофакторная аутентификация выглядит более сбалансированным решением. Она сравнительно проста в применении и закрывает один из самых уязвимых участков, связанный с удаленным входом и доступом к административным панелям.

Сопоставление методов показывает, что лучшая стратегия для малой информационной системы строится по принципу разумного слоя. Сначала закрываются базовые уязвимости через обновление и фильтрацию доступа. Затем усиливается контроль учетных записей и ограничивается распространение атаки внутри сети. После этого уже имеет смысл подключать более чувствительные инструменты анализа трафика. В итоге наиболее надежной оказывается не ставка на одно дорогое решение, а комбинация из нескольких мер, каждая из которых решает собственную задачу и дополняет остальные.

Заключение

В результате проведенного сравнительного анализа методов защиты от сетевых атак в малых информационных системах решены обе поставленные задачи. Во-первых, рассмотрены основные виды сетевых атак, наиболее характерных для небольших организаций и локальных инфраструктур, – сканирование портов, перехват и подмена трафика, подбор учетных данных, эксплуатация уязвимостей, а также атаки на сервисы удаленного доступа. Определены ключевые критерии оценки защитных методов: результативность, стоимость внедрения, сложность сопровождения, совместимость с инфраструктурой, влияние на производительность сети и устойчивость к типичным ошибкам администрирования.

Во-вторых, выполнено сопоставление практических способов защиты – межсетевого экрана, систем обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS), сегментации сети, многофакторной аутентификации, регулярного обновления программного обеспечения и оборудования. На основе интегральной оценки по 10-балльной шкале установлено, что наиболее эффективными для малых информационных систем являются регулярное обновление ПО (8,7 балла), грамотно настроенный межсетевой экран (8,4 балла) и сегментация сети (8,0 балла).

Основной вывод работы заключается в том, что в условиях ограниченных ресурсов наиболее надежной стратегией защиты является не ставка на одно дорогостоящее решение, а комбинация базовых мер, реализуемая по принципу разумного слоя. Сначала закрываются типовые уязвимости через обновления и фильтрацию доступа, затем усиливается контроль учетных записей и ограничивается распространение атаки внутри сети, после чего подключаются более чувствительные инструменты анализа трафика.

Практическая значимость результатов состоит в том, что предложенный подход позволяет малым организациям, учебным структурам и локальным офисным сетям достичь приемлемого уровня защищенности при минимальных финансовых и организационных затратах. Полученные выводы могут быть использованы при проектировании и модернизации систем информационной безопасности в малых информационных системах, а также в учебном процессе при подготовке специалистов в области защиты информации.

Список литературы

1. Исакова Т.А. Безопасность информации: распределенная система обнаружения атак / Т.А. Исакова // Актуальные вопросы современной экономики. – 2025. – № 3. – С. 596-600.

2. Кравченко А.А., Пермяков Р.А. Интернет вещей (IOT): угрозы безопасности в автоматизированных системах / А.А. Кравченко, Р.А. Пермяков // Безопасность цифровых технологий. – 2025. – № 2 (117). – С. 52-75.

3. Faruq O., Chowdhury F.A., Md Parvez A.S., Nath N.Ch., Kabiraj P. Security protocol of wireless sensor networks localization: analysis and performance / O. Faruq, F.A. Chowdhury, A.S. Md Parvez, N.Ch. Nath, P. Kabiraj // Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2025. Vol. 5 – № 1. – P. 1048-1059.

4. Фомин Ю.С., Алтынбаев А.Ф., Тарануха А.В. Целостность, доступность, конфиденциальность виртуализации и контейнеризации / Ю.С. Фомин, А.Ф. Алтынбаев // Парадигма. – 2025. – № 5-5. – С. 173-182.

5. Юсупов Б.З. Разработка учебного стенда охранно-пожарной системы для обучения студентов / Б.З. Юсупов // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 2. – С. 40-48. – DOI: 10.7256/2454-0714.2023.2.43552.

6. Шарипов Р.Р., Фатхелисламов А.Ф. Исследования скорости передачи данных в PLC сети в учебной лаборатории // Информационные технологии обеспечения комплексной безопасности в цифровом обществе: материалы VI Всерос. молодеж. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Уфа: УУНиТ, 2023. – С. 55-60.

7. Шарипов Р.Р., Юсупов Б.З. Исследование электрических параметров пороговых извещателей / Р.Р. Шарипов, Б.З. Юсупов // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 3. – С. 29-47. – DOI: 10.7256/2454-0714.2023.3.43682.

8. Шарипов Р.Р., Кассирова А.А. Разработка программного комплекса реализации алгоритма Берлекэмпа – Месси на регистрах сдвига для обучающихся по дисциплине «Криптография» / Р.Р. Шарипов, А.А. Кассирова // Computational Nanotechnology. – 2025. – Т. 12. – № 1. – С. 97-104. – DOI: 10.33693/2313-223X-2025-12-1-97-104.

9. Юсупов Б.З. Разработка стенда для контроля и анализ пороговых извещателей // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2024: тезисы докладов XI Международной молодежной научно-технической конференции – Казань, 2024. – С. 909-910.

10. Ожмекова Е.Д., Шарипов Р.Р. Исследования методов кодирования информации для повышения пропускной способности канала связи при передаче больших данных // Международный форум Kazan Digital Week – 2025: сборник материалов. – Казань: АН РТ, 2025. – С. 786-792.

УДК 004.932.2

АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ ПРИ ЧАСТИЧНОМ ЗАКРЫТИИ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ

Исаков Т.Р., магистрант;
Надеждина М.Е., доцент, к.т.н., ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия

FACIAL RECOGNITION ALGORITHMS UNDER PARTIAL OCCLUSION: A REVIEW OF MODERN APPROACHES

Isakov T.R., Master's student;
Nadezhdina M.E., Associate Professor, Ph.D., Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Аннотация

Системы распознавания лиц широко применяются в сферах безопасности, контроля доступа и мобильной аутентификации. Однако частичное закрытие лица посторонними объектами (медицинские маски, солнцезащитные очки, шарфы, руки) существенно снижает точность распознавания – на 25–60% по сравнению с незакрытыми лицами. В настоящей работе представлен систематический обзор современных методов обнаружения, отслеживания и распознавания лиц в условиях окклюзии. Рассмотрены традиционные подходы (Viola–Jones, HOG+SVM) и современные детекторы на основе глубокого обучения: двухэтапные (Faster R-CNN) и одноэтапные (SSD, YOLO). Показано, что YOLO обеспечивает наилучший баланс скорости и точности: YOLOv8 достигает 120 кадр/с и mAP 96,2% на наборе WIDER FACE. Проанализированы методы отслеживания лиц: корреляционный фильтр MOSSE (до 600 кадр/с, устойчив к временной окклюзии до 20 кадров) и его модификации (KCF, CAMShift, KLT). Рассмотрены подходы к распознаванию: ResNet50, VGGFace, ArcFace; показано, что ResNet50 + SVM обеспечивает точность 99,4% на чистых лицах и 98,7 % при окклюзии. Приведены открытые наборы данных (LFW, COFW, FDDB, 300-W, WIDER FACE, MAFA) и ключевые метрики (Precision, Recall, F1-score, mAP, IoU, PSR). Предложена трёхэтапная архитектура системы реального времени: обнаружение (YOLOv8), отслеживание (MOSSE с реинициализацией через YOLO), распознавание (ResNet50 + SVM). Система работает со скоростью 100–120 кадр/с на GPU среднего уровня и справляется с масками, очками, шарфами и частичным закрытием рукой со средней точностью 94–96 %. Результаты могут быть использованы при проектировании робастных систем распознавания лиц в реальных условиях.

Ключевые слова: распознавание лиц, окклюзия, YOLO, MOSSE, ResNet50, ArcFace, компьютерное зрение, глубокое обучение, биометрическая идентификация

Abstract

Face recognition systems are widely used in security, access control, and mobile authentication. However, partial occlusion (masks, glasses, scarves, hands) significantly reduces recognition accuracy by 25–60% compared to non-occluded faces. This paper provides a systematic review of modern methods for face detection, tracking and recognition under occlusion. Traditional approaches (Viola–Jones, HOG+SVM) and modern deep learning detectors – two-stage (Faster R-CNN) and one-stage (SSD, YOLO) – are considered. It is shown that YOLO offers the best trade-off between speed and accuracy: YOLOv8 reaches 120 fps and mAP 96.2% on WIDER FACE dataset. Tracking methods are analysed: MOSSE correlation filter (up to 600 fps, robust to temporary occlusion for up to 20 frames) and its modifications (KCF, CAMShift, KLT). Recognition approaches are reviewed: ResNet50, VGGFace, ArcFace; ResNet50 + SVM provides 99.4% accuracy on clean faces and 98.7% under occlusion. Public datasets (LFW, COFW, FDDB, 300-W, WIDER FACE, MAFA) and key metrics (Precision, Recall, F1-score, mAP, IoU, PSR) are presented. A three-stage real-time system architecture is proposed: detection (YOLOv8), tracking (MOSSE with YOLO-based re-initialisation), recognition (ResNet50 + SVM). The system operates at 100–120 fps on a mid-range GPU and handles masks, glasses, scarves and partial hand occlusion with average accuracy of 94–96%. The results can be used for designing robust face recognition systems in real-world occluded scenarios.

Keywords: face recognition, occlusion, YOLO, MOSSE, ResNet50, ArcFace, computer vision, deep learning, biometric identification

Введение

Технология распознавания лиц стала неотъемлемой частью современных систем безопасности, контроля доступа, видеонаблюдения и аутентификации пользователей на мобильных устройствах. По данным аналитического агентства MarketsandMarkets, мировой рынок распознавания лиц к 2027 г. превысит 16 млрд долларов США. Однако применение таких систем в реальных условиях существенно затрудняется явлением окклюзии – частичным пере-

крытием лица посторонними объектами (медицинские маски, солнцезащитные очки, шарфы, головные уборы) или частями тела (руки, волосы).

Как показано в [1–3], точность распознавания при окклюзии падает на 25–60% по сравнению с незакрытыми лицами. Проблема стала особенно острой в период пандемии COVID-19 и сохраняет актуальность по сей день. Цель данной работы – систематизация современных подходов к обнаружению, отслеживанию и распознаванию лиц при частичной окклюзии, а также выявление наиболее эффективных алгоритмов для систем реального времени.

Методика

Обзор основан на анализе научных публикаций, индексированных в базах eLibrary, CyberLeninka, Google Scholar и arXiv, за период 2008–2026 гг. Поиск проводился по ключевым словам: «распознавание лиц при окклюзии», «обнаружение лиц в реальном времени», «отслеживание лиц корреляционными фильтрами», «глубокие нейронные сети распознавание лиц». Отобрано 25 релевантных работ, из которых для данной статьи использованы 10 ключевых источников.

Основная часть

Обнаружение лиц при окклюзии. Обнаружение – первый этап любого конвейера распознавания. Традиционные методы (Viola–Jones, HOG+SVM) работают быстро, но не справляются с сильной окклюзией. Современные детекторы на основе глубокого обучения делятся на двухэтапные (Faster R-CNN) и одноэтапные (SSD, YOLO). Faster R-CNN [4] обеспечивает высокую точность (mAP до 85,6%), но медленный (≈17 кадр/с). SSD [5] достигает 59 кадр/с при mAP 82,1%, однако его точность падает при окклюзии >50%. YOLO предлагает наилучший компромисс. YOLOv3 [6] выдаёт 65 кадр/с и mAP 88,4%, тогда как современные модификации YOLO демонстрируют mAP 95–97% на наборе WIDER FACE.

Сравнительная оценка методов обнаружения приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение методов обнаружения лиц при окклюзии

Метод	Скорость, кадр/с	mAP, %	Примечание
Faster R-CNN	17	85,6	Высокая точность, медленный
SSD	59	82,1	Быстрый, чувствителен к окклюзии
YOLOv3	65	88,4	Хороший баланс
YOLOv8	120	96,2	Современный стандарт

Отслеживание лиц при окклюзии. После обнаружения лица в первом кадре его эффективнее отслеживать, чем выполнять детекцию в каждом кадре. Корреляционный фильтр MOSSE [7] работает в частотной области, достигает 600 кадр/с и устойчив к небольшим изменениям внешнего вида. Качество отслеживания оценивается по метрике PSR (Peak to Sidelobe Ratio). KCF [8] повышает точность при поворотах и масштабировании, но в 3–5 раз медленнее MOSSE. CAMShift и KLT имеют ограничения при изменении освещения и значительной окклюзии. Гибридные подходы с YOLO для инициализации и MOSSE для отслеживания снижают вычислительную нагрузку в 8–10 раз при сохранении точности 94–96%.

Распознавание лиц при окклюзии. Наиболее сложный этап – извлечение признаков и классификация. Архитектура ResNet50 [9] с остаточными связями, дообученная на окклюзированных данных, достигает 91,3% точности на наборе COFW, превосходя HOG+SVM на 7,8%. VGGFace2 точен на чистых изображениях, но менее устойчив к окклюзии. ArcFace [10] вводит аддитивный угловой штраф, повышая дискриминативность признаков; на наборах с масками точность верификации достигает 96,8%.

В табл. 2 приведены показатели точности различных методов распознавания.

Таблица 2

Точность распознавания (%) при различных условиях

Метод	Чистые лица	Очки	Маска	Шарф
HOG+SVM	90,9	69,0	60,0	65,0
LBP+SVM	94,8	80,0	82,0	84,0
ResNet50+SVM	99,4	98,7	99,0	95,0
ArcFace	99,6	96,8	97,5	96,0

Наборы данных и метрики. Для оценки алгоритмов используются открытые наборы: LFW (13 233 изображения, естественные окклюзии), COFW (1 345 изображений с аннотированными окклюзиями), FDDB (5 171 изображение для обнаружения лиц), 300-W (3 837 изображений с 68 ключевыми точками), WIDER FACE (32 203 изображения, сложные сценарии), MAFA (35 806 лиц в масках). Основные метрики: Precision, Recall, F1-score, AP, mAP, IoU, PSR.

Предлагаемая архитектура. На основе обзора предлагается трёхэтапный конвейер: 1) обнаружение – YOLOv8; 2) отслеживание – MOSSE с реинициализацией через YOLO при падении PSR ниже порога; 3) распознавание – ResNet50 для извлечения признаков и линейный SVM для идентификации. Система работает со скоростью 100–120 кадр/с на GPU среднего уровня (RTX 3060) и справляется с различными видами окклюзий со средней точностью 94–96%.

Выводы

Проведённый анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. YOLOv8 – оптимальный детектор для реального времени (mAP 96,2 %, 120 кадр/с).

2. MOSSE с повторной инициализацией на основе YOLO обеспечивает робастное отслеживание (94–96 % успеха) при низких вычислительных затратах.

3. ResNet50 + SVM даёт наивысшую точность распознавания (98–99 %) для окклюзированных лиц; ArcFace дополнительно улучшает верификацию на масках.

4. Открытые наборы данных и метрики позволяют проводить объективную оценку.

Дальнейшие исследования следует направить на генеративные методы деокклюзии, лёгкие модели для мобильных устройств и мультимодальную (RGB-D, тепловизоры) обработку.

Список литературы

1. Хтет Аунг. Алгоритмы распознавания и отслеживания лиц при их частичном закрытии: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. – 156 с.

2. Романенко А.О., Юфряков А.В. Оценка размытия изображения для биометрической идентификации // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2023. – Т. 4. – С. 45–52.

3. Оралов И.С., Дударов С.П. Инструменты разработки, методы и примеры программных средств для идентификации и распознавания лиц людей при видеофиксации в режиме реального времени // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – Т. 35, № 3 (238). – С. 51–53.

4. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2017. – Vol. 39, № 6. – P. 1137–1149.

5. Liu W. et al. SSD: Single shot multibox detector // Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2016. – P. 21–37.

6. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An incremental improvement // arXiv preprint. – 2018. – arXiv:1804.02767.

7. Bolme D.S., Beveridge J.R., Draper B.A., Lui Y.M. Visual object tracking using adaptive correlation filters // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2010. – P. 2544–2550.

8. Henriques J.F., Caseiro R., Martins P., Batista J. High-speed tracking with kernelized correlation filters // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2015. – Vol. 37, № 3. – P. 583–596.

9. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – P. 770–778.

10. Deng J., Guo J., Xue Y., Zafeiriou S. ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2019. – P. 4690–4699.

УДК 004.056

МЕТОДЫ ПОИСКА СКРЫТЫХ РАДИОЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВ

Казахмедов С.Н., студент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» г. Казань, Россия

METHODS FOR SEARCHING HIDDEN RADIO EMBEDDED DEVICES

Kazakhmedov S.N., Student of Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены основные методы поиска скрытых радиозакладных устройств, представляющих угрозу информационной безопасности. Представлена классификация методов обнаружения, включая радиочастотные, нелинейную локацию, контроль проводных линий и визуальный осмотр. Приведена схема классификации методов поиска. Описаны принципы работы индикаторов поля, сканирующих приемников, резонансно-рефлектометрических локаторов и нелинейных локаторов. Проанализированы достоинства и ограничения каждого метода. Работа основана на анализе современных исследований в области технической защиты информации. Практическая апробация некоторых методов проведена в лабораторной аудитории КНИТУ-КАИ с использованием поисковых комплексов СРМ-700, ST-031 и анализатора спектра TinySA ULTRA.

Ключевые слова: радиозакладные устройства, поиск закладных устройств, нелинейный локатор, индикатор поля, резонансно-рефлектометрическая локация, защита информации

Abstract

This article is devoted to analyze the main methods for searching hidden radio embedded devices that pose a threat to information security. A classification of detection methods is presented, including radio frequency, nonlinear location, wired line monitoring and visual inspection. A classification scheme of search methods is provided. The operating principles of field indicators, scanning receivers, resonance-reflectometric locators and nonlinear locators are described. The advantages and limitations of each method are analyzed. The work is based on the analysis of modern research in the field of technical information protection. The practical approbation of the considered methods was conducted in the laboratory classroom of KNRTU-KAI using the CPM-700, ST-031 search systems and the TinySA ULTRA spectrum analyzer.

Keywords: radio embedded devices, search for embedded devices, nonlinear locator, field indicator, resonance-reflectometric location, information protection

Введение

Проблема обнаружения скрытых радиозакладных устройств (РЗУ) остается актуальной задачей обеспечения информационной безопасности [1,2] Современные РЗУ характеризуются малыми габаритами, возможностью работы в режиме накопления информации, использованием цифровых методов модуляции и тщательной маскировкой под бытовые предметы. Это обуславливает необходимость применения различных методов поиска.

На рис. 1 представлена классификация основных методов обнаружения радиозакладных устройств.



Рис. 1. Классификация методов поиска радиозакладных устройств

Согласно представленной классификации, все методы делятся на три основные группы: пассивные, активные и органолептические. Рассмотрим каждую группу подробнее.

Описание методов поиска радиозакладных устройств

Пассивные методы основаны на регистрации собственных физических полей работающего РЗУ без воздействия на него. Радиочастотные методы включают применение индикаторов поля для последовательного обхода помещения с фиксацией превышения порогового уровня сигнала. Расстояние от антенны до обследуемых объектов не должно превышать 5–20 см, а обход производится дважды: с полностью выдвинутой и частично выдвинутой антенной [3]. Сканирующие приемники обеспечивают автоматическое сканирование диапазона частот (от 20 МГц до 3 ГГц) с выявлением источников излучения, но особое внимание уделяется частотам 60–170, 250–290, 360–430 МГц, наиболее часто используемым в радиозакладках [4].

Теплолокационный метод основан на регистрации собственного электромагнитного излучения тепловых аномалий. Работающее РЗУ потребляет электрическую мощность, что приводит к локальному повышению температуры окружающей среды. Возникающий тепловой контраст может быть зафиксирован радиометром, работающим в микроволновом диапазоне [5].

Активные методы предполагают облучение обследуемой области зондирующим сигналом и анализ отклика. Резонансно-рефлектометрическая локация позволяет обнаруживать

как активные, так и пассивные РЗУ. Метод основан на зондировании пространства сигналом с перестраиваемой частотой и анализе отклика на резонансной частоте колебательного контура устройства. Некоторые исследования, проведенные в [6], подтвердили эффективность метода на расстояниях до 30 см от поискового прибора.

Нелинейная локация базируется на облучении обследуемой области высокочастотным сигналом и приеме отклика на гармониках. Наличие полупроводниковых элементов (диодов, транзисторов, микросхем) в составе РЗУ приводит к нелинейному преобразованию сигнала и появлению второй и третьей гармоник в отраженном излучении [7]. Преимуществом метода является возможность обнаружения устройств, находящихся в пассивном состоянии, в том числе выключенных [8].

Контроль проводных линий (активно-пассивный метод) включает измерение электрических параметров телефонных линий и сетей электропитания. Включенное в линию закладное устройство изменяет ток, напряжение или сопротивление. Для телефонных линий наиболее информативным параметром является напряжение в линии при положенной и поднятой трубке. Типовые значения для отечественных АТС составляют 60–64 В (трубка положена) и 10–12 В (трубка снята). Отклонение от этих значений может свидетельствовать о наличии подключенного устройства [9].

Органолептические методы (визуальный осмотр) предполагают выявление демаскирующих признаков: наличие посторонних проводов, предметов с нехарактерными отверстиями, несоответствие массы и габаритов. Для углубленного досмотра применяются металлодетекторы, тепловизоры, эндоскопы и рентгеновские комплексы [10].

Практическая часть

На рис. 2 представлен план лабораторной аудитории кафедры систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ. В этой аудитории проводятся занятия по поиску и локализации скрытых закладных устройств с использованием их радиочастотных имитаторов.

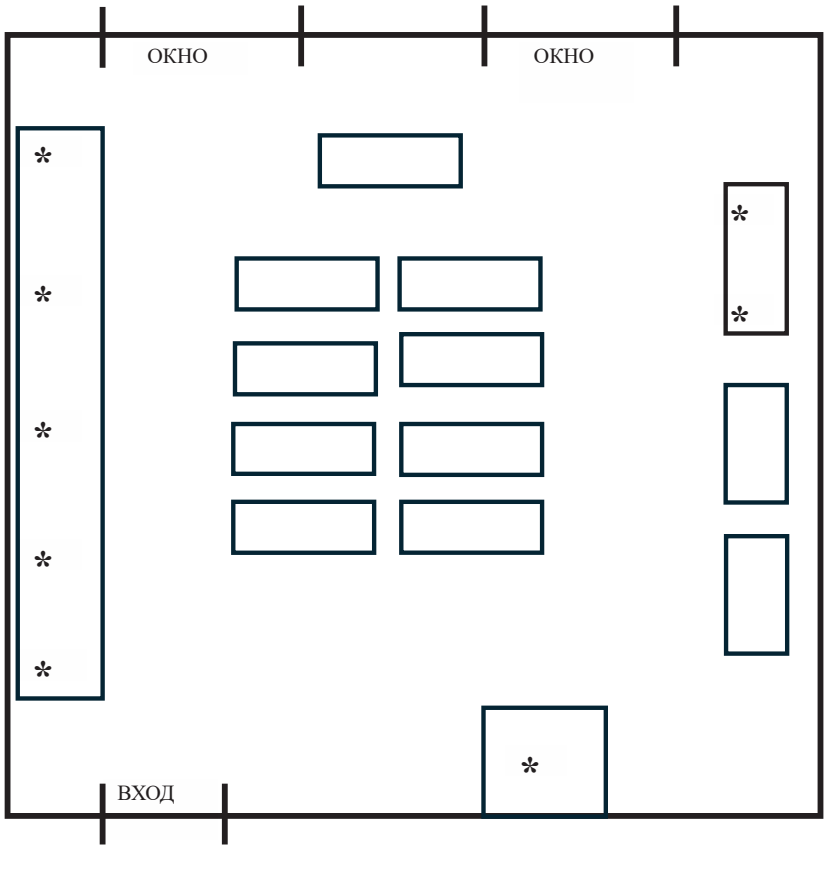


Рис. 2. План лабораторной аудитории

В левом нижнем углу находится вход, справа от которого расположен коммутационный шкаф. В центре аудитории находятся парты и стол преподавателя. У правой и левой стен установлены персональные компьютеры и лабораторное оборудование. Места для скрытого размещения имитаторов в аудитории показаны на плане в виде звёздочек (рис. 2). В процессе обучения поиску закладных устройств используются следующие комплексы:

1. Поисковый комплекс СРМ-700;
2. Поисковый комплекс ST-031;
3. Анализатор спектра TinySA ULTRA с направленной антенной ZS407.

В ходе лабораторных и практических работ обучающиеся получают навыки анализа частотных характеристик среды, выявления сигналов на нетипичных частотах (превышающих уровень фона) и локализации неидентифицированных источников радиоизлучения.

Заключение

Таким образом, эффективное обнаружение радиозакладных устройств требует комплексного применения рассмотренных методов. Представленная на рис. 1 классификация позволяет систематизировать подходы к поиску РЗУ и выбрать оптимальный метод в зависимости от условий проведения обследования. Пассивные радиочастотные методы позволяют выявлять активные излучающие устройства, активные методы (нелинейная и резонансно-рефлектометрическая локация) эффективны для обнаружения устройств независимо от их состояния, а контроль проводных линий и визуальный осмотр дополняют инструментарий специалиста. Наиболее перспективным представляется создание комбинированных поисковых комплексов, объединяющих функции различных методов. Проведённая в лабораторной аудитории апробация с использованием комплексов СРМ-700, ST-031 и анализатора TinySA ULTRA подтвердила, что последовательное применение всех групп методов обеспечивает наибольшую достоверность обнаружения. Полученные результаты используются в учебном процессе кафедры систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ для отработки практических навыков поиска закладных устройств.

Список литературы

1. Хорев, А. А. Программно-аппаратные комплексы радиоконтроля для выявления электронных устройств перехвата акустической речевой информации / А. А. Хорев // Специальная техника. – 2017. – № 2. – С. 49-63. – EDN YPYHHH.

2. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28-34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34. – EDN MSJHRC.

3. A framework for co-location patterns mining in big spatial data / A. Garaeva, F. Makhmutova, I. Anikin, K. U. Sattler // Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM), Saint-Petersburg, 24–26 мая 2017 года. – Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. – P. 477-480. – DOI 10.1109/SCM.2017.7970622. – EDN XXEUDR.

4. Nguyen, T. T. Trust-aware semantic data Virtualization for decentralized systems with context-adaptive query orchestration / T. T. Nguyen, Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 102, № 5-5. – P. 117-127. – DOI 10.36871/26189976.2026.05-5.010. – EDN XRFZFC.

5. Шарипов, Р. Р. Разработка программно-лабораторного комплекса для изучения кодирования информации методом Хаффмана / Р. Р. Шарипов, Е. Д. Ожмекова, М. Ю. Перухин // Computational Nanotechnology. – 2026. – Т. 13, № 1. – С. 167-174. – DOI 10.33693/2313-223X-2026-13-1-167-174. – EDN NCCSUC.

6. Олин, Р. А. Управление рисками информационной безопасности при внедрении автономных агентов с искусственным интеллектом / Р. А. Олин, Р. Р. Шарипов, В. В. Бондаренко //

Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 35-42. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-35-42. – EDN UPTRWD.

7. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97-103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010. – EDN PHWCRQ.

8. Investigation of mechanical properties of thermal barrier coating by tested on a 4-point bending / A. R. Ibragimov, L. N. Shafigullin, A. T. Gabdrakhmanov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, № 5. – P. 2308-2317. – EDN XFLTXX.

9. Anikin, I. V. Symmetric encryption with key distribution based on neural networks / I. V. Anikin, A. Z. Makhmutova, O. E. Gadelshin // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 – Proceedings, Chelyabinsk, 19–20 мая 2016 года. – Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. – P. 7911640. – DOI 10.1109/ICIEAM.2016.7911640. – EDN XNCCXX.

10. Хорев, А. А. Методы выявления электронных устройств перехвата акустической речевой информации, используемые в программноаппаратных комплексах радиоконтроля / А. А. Хорев // Специальная техника. – 2016. – № 4. – С. 45-64. – EDN WIDDXF.

УДК 004.056

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОВОДНЫХ ЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВ

Казахмедов С.Н., студент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

METHODS FOR DETECTING WIRED EMBEDDED DEVICES

Kazakhmedov S.N., student of Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены основные методы обнаружения проводных закладных устройств, подключаемых к телефонным линиям, сетям электропитания и другим коммуникациям. Представлена классификация методов поиска, включая анализ информационных сигналов, измерение параметров линии, рефлектометрию и нелинейную локацию. Приведена схема классификации методов обнаружения. Описаны принципы работы рефлектометров, анализаторов проводных линий и нелинейных локаторов. Проанализированы достоинства и ограничения каждого метода. Работа основана на анализе современных исследований в области технической защиты информации. Практическая апробация некоторых методов проведена на лабораторном стенде КНИТУ-КАИ с использованием контроллера «КТЛ-400», сетевого фильтра «ФСП-10» и сканера проводных линий «Вектор», позволяющих проводить исследования как в рабочем, так и в обесточенном состоянии линий.

Ключевые слова: проводные закладные устройства, обнаружение закладных устройств, рефлектометрия, нелинейная локация, контроль телефонных линий, защита информации

Abstract

The article discusses the main methods for detecting wired embedded devices connected to telephone lines, power supply networks and other communications. A classification of search methods

is presented, including analysis of information signals, measurement of line parameters, reflectometry and nonlinear location. A classification scheme of detection methods is provided. The operating principles of reflectometers, wired line analyzers and nonlinear locators are described. The advantages and limitations of each method are analyzed. The work is based on the analysis of modern research in the field of technical information protection. Practical testing of the considered methods was carried out on a laboratory bench of KNRTU-KAI using the KTL-400 controller, FSP-10 power line filter and Vektor wired line scanner, which allow conducting research both in operating and de-energized line states.

Keywords: wired embedded devices, detection of embedded devices, reflectometry, nonlinear location, telephone line monitoring, information protection

Введение

Проблема обнаружения проводных закладных устройств, подключаемых к телефонным линиям, сетям электропитания и другим коммуникациям, остается актуальной задачей обеспечения информационной безопасности [1]. Такие устройства могут передавать перехваченную информацию как непосредственно по проводам, так и с использованием радиоканала, что обуславливает необходимость применения различных методик поиска.



Рис. 1. Классификация методов обнаружения проводных закладных устройств

На рис. 1 представлена классификация основных методов обнаружения проводных закладных устройств. Согласно представленной классификации, все методы обнаружения проводных закладных устройств можно поделить на четыре группы [2]. Давайте по подробнее рассмотрим каждую группу.

Описание методов обнаружения проводных закладных устройств

Выявление несанкционированно передаваемых данных в проводных линиях связи осуществляется посредством ряда методов обработки информационных сигналов. К числу таких способов относятся амплитудный и корреляционный анализ, а также инструментальное исследование сигналов и прослушивание каналов связи.

Эти методы позволяют обнаружить работающее закладное устройство по характерным признакам передаваемой информации. При использовании амплитудного метода производится измерение уровня сигнала в линии, превышение пороговых значений может свидетельствовать о наличии несанкционированной передачи данных [3].

Диагностика электрических параметров линии направлена на обнаружение изменений, обусловленных гальваническим подключением закладных устройств. Контролю подлежат сопротивление, емкость, индуктивность, а также ток и напряжение [4]. Для телефонных линий наиболее информативным параметром является напряжение в линии при положенной и поднятой трубке. Типовые значения для отечественных АТС составляют 60–64 В (трубка положена) и 10–12 В (трубка снята). Отклонение от этих значений может свидетельствовать о наличии подключенного устройства [5].

Помимо указанных, к рассматриваемой группе относят методы, выявляющие трансформацию электрических параметров линии: вольт-амперной характеристики, импульсной переходной характеристики, а также характеристик, определяемых по фигурам «Лиссажу» [2]. Сравнение полученных параметров с эталонными значениями позволяет с высокой достоверностью выявить факт подключения постороннего устройства.

Рефлектометрические методы являются одними из наиболее эффективных для обнаружения проводных закладных устройств. В основе импульсной рефлектометрии лежит анализ отраженных высокочастотных сигналов, которые появляются при несогласованной нагрузке в линии [6]. Этот способ широко используется для выявления закладных устройств и блоков питания, подключенных гальванически, и дает возможность вычислять расстояние до точек их подключения.

Принцип действия рефлектометра сходен с радиолокацией: зондирующий импульс направляется вдоль линии. При достижении места подключения закладного устройства, повреждения или иной неоднородности часть сигнала возвращается к прибору из-за изменения волнового сопротивления линии. Время прохождения сигнала до неоднородности и обратно преобразуется в расстояние [7].

Любое устройство или дополнительный провод, подсоединенный к линии, создает локальное изменение волнового сопротивления, вызывая отражение сигнала. Анализ фазы, амплитуды и полярности отраженного импульса позволяет точно локализовать место подключения закладного устройства. Важно отметить, что данный метод неэффективен для обнаружения бесконтактных подключений [6].

Программно-аппаратный комплекс «Сириус» является примером оборудования, использующего метод импульсной рефлектометрии для поиска закладных устройств. Получаемые рефлектограммы позволяют определить точное расстояние до подключения, давая возможность обнаруживать закладные устройства [6, 8].

Частотная рефлектометрия (FDR) является альтернативным методом, основанным на анализе зависимости коэффициента отражения от частоты зондирующего сигнала. Этот метод позволяет выявлять неоднородности в линии с высокой точностью и может использоваться для обнаружения сложных закладных устройств [7].

Нелинейная локация проводных коммуникаций представляет собой отдельный метод, основанный на облучении обследуемой проводной линии высокочастотным сигналом и приеме отклика на гармониках. Наличие полупроводниковых элементов (диодов, транзисторов, микросхем) в составе закладного устройства приводит к нелинейному преобразованию сигнала и появлению второй и третьей гармоник в отраженном излучении [9]. Преимуществом метода является возможность обнаружения устройств, находящихся в пассивном состоянии, в том числе выключенных. Современные нелинейные локаторы, такие как «Родник-3КМ» и «NR-900M», позволяют эффективно обнаруживать полупроводниковые элементы в проводных коммуникациях на глубине до нескольких десятков сантиметров [2, 9].

Кроме перечисленных методов, существует также метод обнаружения эффекта «высокочастотного навязывания» (ВЧ-навязывания), который также относится к методам выявления закладных устройств в проводных коммуникациях. Этот метод основан на анализе реакции линии на внешнее высокочастотное воздействие [2].

Визуальный осмотр также остается важным этапом поисковых мероприятий. Признаками наличия проводных закладных устройств могут служить: наличие в помещении тонких проводов непонятного назначения, посторонние малогабаритные предметы с аккумуляторными батареями, расход тока при полностью отключенных рабочих приборах, а также нетипичные показания емкости в линии подачи электроэнергии после ее отключения от источника питания [5]. Для углубленного досмотра применяются эндоскопы, позволяющие осматривать труднодоступные полости, и тепловизоры, регистрирующие тепловые аномалии от работающих устройств [10].

Практическая часть

На рис. 2 представлена схема лабораторного стенда для исследования проводных линий, предназначенного для обнаружения несанкционированного подключения посторонних устройств. Стенд развернут в учебной лаборатории кафедры систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ.

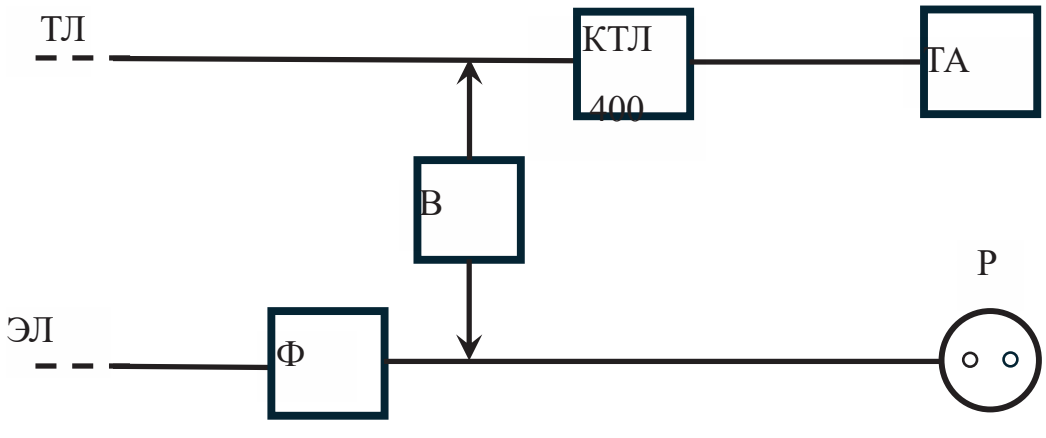


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

Стенд включает две входные линии: телефонную и электрическую (230 В). К телефонной линии через контроллер «КТЛ-400» подключен телефонный аппарат. К электрической линии подсоединена розетка (на конце линии) и сетевой фильтр «ФСП-10» (в начале линии). Сканер проводных линий «Вектор» может подключаться как к телефонной, так и к электрической линии.

Исследование линий на стенде возможно проводить как в рабочем (под напряжением), так и в обесточенном состоянии. В первом случае контроллер «КТЛ-400» в реальном времени сканирует гальванические параметры телефонной линии и фиксирует их изменения, возникающие при попытках несанкционированного подключения устройств. Сетевой фильтр «ФСП-10» обеспечивает подавление высокочастотных сигналов и помех как на входе, так и на выходе электрической линии.

При использовании сканера «Вектор» измерения выполняются при полном отключении потребителей от линий. Если к линии гальванически подключено устройство негласного съема информации, сканер отображает фигуры Лиссажу, анализ которых позволяет определить тип нагрузки, подключенной к линии. На основе полученной входной характеристики можно сделать предположение о функциональном назначении выявленного устройства.

Применение данного стенда в учебном процессе позволяет обучающимся проводить измерения в различных режимах работы линий с подключением разных типов проводных

имитаторов закладных устройств. В ходе выполнения лабораторных работ у студентов формируются первичные практические навыки:

– анализа электрических параметров проводных линий;
– выявления признаков несанкционированного подключения;
– исследования входных характеристик линий;
– построения эквивалентных схем для идентификации назначения выявленных устройств.

Заключение

Таким образом, эффективное обнаружение проводных закладных устройств требует комплексного применения рассмотренных методик. Представленная на рис. 1 классификация позволяет систематизировать подходы к поиску и выбрать оптимальный метод в зависимости от условий проведения обследования. Методы анализа сигналов эффективны для выявления активных устройств, рефлектометрия позволяет точно локализовать место подключения, а нелинейная локация обнаруживает устройства с полупроводниковыми элементами независимо от их состояния. Наиболее перспективным представляется создание комбинированных поисковых комплексов, объединяющих функции различных методов. Практическая апробация методик на лабораторном стенде КНИТУ-КАИ с использованием контроллера «КТЛ-400», сетевого фильтра «ФСП-10» и сканера «Вектор» подтвердила эффективность комплексного подхода, позволяющего выявлять устройства как в рабочих, так и в обесточенных линиях. Полученные результаты используются в учебном процессе кафедры систем информационной безопасности для формирования у обучающихся практических навыков обнаружения проводных закладных устройств и анализа их характеристик.

Список литературы

1. Хорев, А. А. Методы выявления электронных устройств перехвата информации, подключаемых к проводным коммуникациям / А. А. Хорев // Специальная техника. – 2016. – № 2. – С. 48-63. – EDN VVFLYR.

2. Anikin, I. V. Symmetric encryption with key distribution based on neural networks / I. V. Anikin, A. Z. Makhmutova, O. E. Gadelshin // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 – Proceedings, Chelyabinsk, 19–20 мая 2016 года. – Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. – P. 7911640. – DOI 10.1109/ICIEAM.2016.7911640. – EDN XNCCXX.

3. Шарипов, Р. Р. Разработка программно-лабораторного комплекса для изучения кодирования информации методом Хаффмана / Р. Р. Шарипов, Е. Д. Ожмекова, М. Ю. Перухин // Computational Nanotechnology. – 2026. – Т. 13, № 1. – С. 167-174. – DOI 10.33693/2313-223X-2026-13-1-167-174. – EDN NCCSUC.

4. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97-103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010. – EDN PHWCRQ.

5. Investigation of mechanical properties of thermal barrier coating by tested on a 4-point bending / A. R. Ibragimov, L. N. Shafigullin, A. T. Gabdrakhmanov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, No. 5. – P. 2308-2317. – EDN XFLTXX.

6. Олин, Р. А. Управление рисками информационной безопасности при внедрении автономных агентов с искусственным интеллектом / Р. А. Олин, Р. Р. Шарипов, В. В. Бондаренко // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 35-42. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-35-42. – EDN UPTRWD.

7. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28-34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34. – EDN MSJHRC.

8. A framework for co-location patterns mining in big spatial data / A. Garaeva, F. Makhmutova, I. Anikin, K. U. Sattler // Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM), Saint-Petersburg, 24–26 мая 2017 года. – Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. – P. 477-480. – DOI 10.1109/SCM.2017.7970622. – EDN XXEUDR.

9. Nguyen, T. T. Trust-aware semantic data Virtualization for decentralized systems with context-adaptive query orchestration / T. T. Nguyen, Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 102, № 5-5. – P. 117-127. – DOI 10.36871/26189976.2026.05-5.010. – EDN XRFZFC.

10. Хорев, А. А. Методы выявления электронных устройств перехвата акустической речевой информации, используемые в программноаппаратных комплексах радиоконтроля / А. А. Хорев // Специальная техника. – 2016. – № 4. – С. 45-64. – EDN WIDDXF.

УДК 004.056

МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ВИЗУАЛЬНОМУ НАБЛЮДЕНИЮ В ВЫДЕЛЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

Казахмедов С.Н., студент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» г. Казань, Россия

METHODS OF COUNTERING VISUAL SURVEILLANCE IN A SECURE ROOM

Kazakhmedov S.N., Student of Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены основные методы противодействия визуальному наблюдению в выделенном помещении, предназначенном для проведения конфиденциальных мероприятий. Представлена классификация способов защиты, включая организационные, пассивные (светоизоляция, маскировка) и активные методы (подавление средств наблюдения). Приведена схема классификации методов противодействия. Описаны принципы защиты оконных проемов, применения специальных пленок и штор, использования масок конфиденциальности для видеокамер, а также методы обнаружения скрытых средств наблюдения. Проанализированы достоинства и ограничения каждого метода. Работа основана на анализе современных исследований в области технической защиты информации и нормативных требований к выделенным помещениям. Практическая апробация методов обнаружения скрытых видеосистем проведена на лабораторном стенде КНИТУ-КАИ с использованием точки доступа D-Link, камеры, встроенной в игрушку «Заяц Zyazulya», и поискового прибора СРМ-700, позволяющих обучающимся отработать навыки визуального осмотра, поиска бликов и радиомониторинга.

Ключевые слова: выделенное помещение, визуальное наблюдение, защита информации, светоизоляция, маскировка, подавление видеокамер, информационная безопасность

Abstract

This article is devoted to analyze the main methods of countering visual surveillance in a secure room intended for confidential events. A classification of protection methods is presented, including organizational, passive (light insulation, camouflage) and active methods (suppression of surveillance equipment). A classification scheme of counteraction methods is provided. The principles of protecting

window openings, the use of special films and curtains, the use of privacy masks for video cameras, as well as methods for detecting hidden surveillance equipment are described. The advantages and limitations of each method are analyzed. The work is based on the analysis of modern research in the field of technical information protection and regulatory requirements for secure rooms. Practical testing of hidden video system detection methods was carried out on a laboratory bench of KNRTU-KAI using a D-Link access point, a camera built into the "Zyazulya Rabbit" toy, and the CPM-700 search device, allowing students to practice visual inspection, glare detection and radio monitoring skills.

Keywords: secure room, visual surveillance, information protection, light insulation, camouflage, video camera suppression, information security

Введение

Проблема противодействия визуальному наблюдению в выделенных помещениях является актуальной задачей обеспечения информационной безопасности организаций и частных лиц [1]. Наблюдение может осуществляться как непосредственно через оконные проемы, так и с использованием оптико-электронных средств, включая фотоаппараты, видеокамеры, приборы ночного видения и тепловизоры, размещаемые как снаружи, так и внутри помещения [2]. Это обуславливает необходимость применения различных методик противодействия применительно к условиям выделенного помещения.

На рис. 1 представлена классификация основных методов противодействия визуальному наблюдению в выделенном помещении.

Согласно представленной классификации, все методы противодействия визуальному наблюдению в выделенном помещении делятся на три основные группы: организационные, пассивные и активные [3]. Рассмотрим каждую группу подробнее.

Анализ методов противодействия визуальному наблюдению

Организационные методы являются базовыми при создании защищенного помещения. К ним относится, прежде всего, выбор помещения, окна которого обращены во внутренние контролируемые зоны территории, что затрудняет ведение наблюдения с прилегающих зданий и сооружений [3, 4].



Рис. 1. Классификация методов противодействия визуальному наблюдению в выделенном помещении

Важное значение имеет организация контролируемого доступа в помещение, исключающая пронос скрытых средств наблюдения, а также режимные меры, предусматривающие проведение конфиденциальных мероприятий в темное время суток или при минимальном естественном освещении [5].

Пассивные методы основаны на создании физических преград для визуального наблюдения. Светоизоляция помещений является ключевым направлением защиты и включает:

– применение светонепроницаемых стекол;

– использование защитных пленок на оконных стеклах;

– установку жалюзи, светонепроницаемых штор или ставней [3].

Защитные пленки наносятся на остекление и могут выполнять функции затемнения, а также снижать вероятность считывания информации с экранов компьютеров за счет ограничения угла обзора [6]. Современные пленки с односторонней проводимостью света позволяют находящимся внутри видеть происходящее снаружи, но препятствуют наблюдению извне.

Маскировка внутреннего пространства предполагает размещение рабочих мест, экранов компьютеров и средств отображения информации таким образом, чтобы исключить их прямой обзор через оконные проемы [3]. Для защиты документов и клавиатур от наблюдения могут использоваться специальные экраны и перегородки, ограничивающие угол обзора [7].

Важным элементом пассивной защиты является использование сертифицированной мебели и оборудования, исключающих наличие скрытых полостей для размещения закладных устройств, а также применение материалов, снижающих заметность объектов в инфракрасном диапазоне [2, 8].

Активные методы предполагают целенаправленное воздействие на средства наблюдения или их обнаружение. Обнаружение скрытых видеокамер осуществляется несколькими способами:

– оптический метод – выявление бликов от объективов;

– радиомониторинг – обнаружение каналов передачи видеоинформации;

– нелинейная локация – обнаружение полупроводниковых элементов;

– тепловизионный контроль – выявление тепловых аномалий от работающих камер [9].

Для регулярного контроля помещения применяются переносные индикаторы поля и обнаружители оптических устройств, фиксирующие отражение от объективов. Пространственное зашумление (экранирование) предполагает использование электромагнитных экранов помещений, препятствующих утечке информации по радиоканалу от скрытых передатчиков, а также защиту проводных коммуникаций с помощью фильтров и экранированных кабелей [3].

Инфракрасная подсветка (засветка) применяется для подавления работы видеокамер, чувствительных в ближнем инфракрасном диапазоне. Размещение ИК-излучателей вблизи защищаемой зоны позволяет создавать засветку, при которой объект виден человеку, но видеоизображение оказывается пересвеченным [10]. Данный метод эффективен против камер с отключенными ИК-фильтрами.

При организации видеонаблюдения внутри помещения (штатного) используются маски конфиденциальности – программные средства, позволяющие закрывать определенные области изображения (окна, двери, места постоянного присутствия людей) при отображении и записи видео [8, 10]. Различают постоянные маски (закрыты всегда) и съемные (могут временно открываться уполномоченными пользователями) [10].

Для защиты от наблюдения с использованием приборов ночного видения и тепловизоров применяются специальные теплоотражающие покрытия на стеклах и материалы, снижающие тепловой контраст объектов [2, 8].

Комплексная защита выделенного помещения предполагает сочетание всех рассмотренных методов. Нормативные требования к помещениям для работы с конфиденциальной информацией регламентируют необходимость применения светонепроницаемых штор или

жалюзи, контроля освещенности, а также периодической проверки наличия средств негласного съема информации [4].

Практическая часть

На рис. 2 представлена схема лабораторного стенда для исследования возможного варианта скрытого видеоперехвата. Стенд развернут на базе кафедры систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ и включает персональный компьютер для настройки точки доступа D-Link, через которую организуется связь по Wi-Fi-каналу с камерой, встроенной в игрушку «Заяц Zyazulya». Коммутатор обеспечивает объединение устройств в сеть по проводному каналу. После настройки точки доступа доступ к камере осуществляется через встроенный веб-интерфейс, после чего начинается трансляция видеопотока.

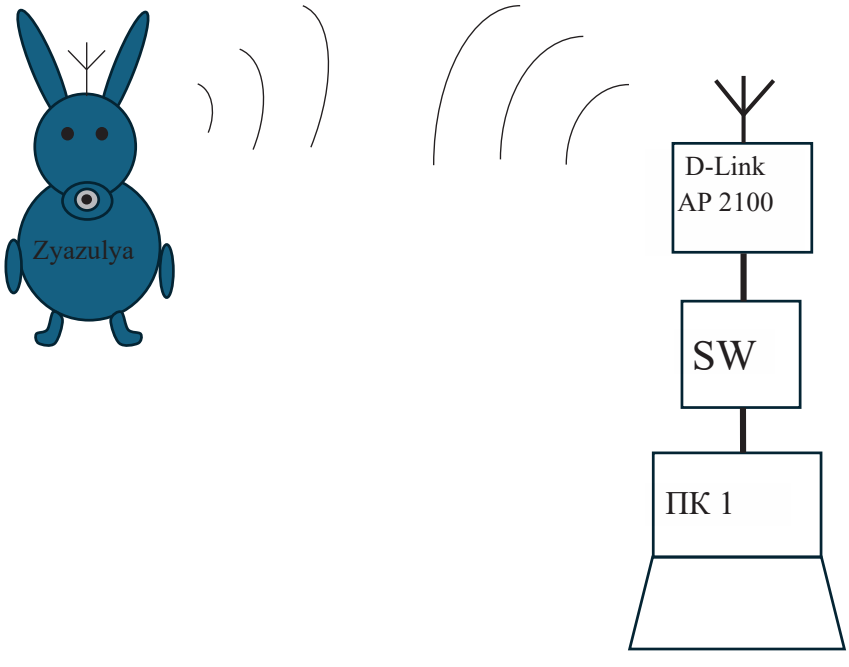


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

На данном стенде обучающиеся кафедры выполняют лабораторную работу, в ходе которой они получают навыки по поиску скрытых видеосистем и их локализации. Для обнаружения используются следующие подходы:

1. Визуальный осмотр лабораторной аудитории с целью выявления демаскирующих признаков скрытых видеосистем.
2. Поиск бликов от объективов с использованием оптического бинокля.
3. Поиск радиоканалов передачи видеоинформации с помощью поискового прибора СРМ-700.

В ходе выполнения лабораторной работы, обучающиеся анализируют частотные характеристики среды, выявляют наличие радиосигналов, характерных для беспроводных видеокамер, и определяют их местоположение с использованием методов направленного приема. Полученные навыки позволяют формировать практические компетенции в области технической защиты информации и противодействия скрытому видеонаблюдению.

Заключение

Таким образом, эффективное противодействие визуальному наблюдению в выделенном помещении требует комплексного применения рассмотренных методик. Представленная на рис. 1 классификация позволяет систематизировать подходы к защите и выбрать оптимальный набор методов в зависимости от конкретных условий и категории помещения. Наиболее

перспективным представляется создание комплексных систем защиты выделенных помещений, объединяющих архитектурно-строительные решения, технические средства контроля и регулярные организационные мероприятия. Практическая апробация на лабораторном стенде КНИТУ-КАИ с использованием камеры, встроенной в игрушку «Заяц Zyazulya», и поискового прибора СРМ-700 подтвердила, что сочетание визуального осмотра, поиска бликов и радиомониторинга позволяет эффективно обнаруживать скрытые видеосистемы в условиях, приближенных к реальным. Полученные результаты внедрены в учебный процесс кафедры систем информационной безопасности для формирования у обучающихся практических навыков противодействия скрытому видеонаблюдению.

Список литературы

1. Хорев, А. А. Побочные электромагнитные излучения видеосистем средств вычислительной техники / А. А. Хорев // Защита информации. Инсайд. – 2014. – № 1 (55). – С. 52-59. – EDN THQITF.

2. Шарипов, Р. Р. Разработка программно-лабораторного комплекса для изучения кодирования информации методом Хаффмана / Р. Р. Шарипов, Е. Д. Ожмекова, М. Ю. Перухин // Computational Nanotechnology. – 2026. – Т. 13, № 1. – С. 167-174. – DOI 10.33693/2313-223X-2026-13-1-167-174. – EDN NCCSUC.

3. Anikin, I. V. Symmetric encryption with key distribution based on neural networks / I. V. Anikin, A. Z. Makhmutova, O. E. Gadelshin // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 – Proceedings, Chelyabinsk, 19–20 мая 2016 года. – Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. – P. 7911640. – DOI 10.1109/ICIEAM.2016.7911640. – EDN XNCCXX.

4. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28-34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34. – EDN MSJHRC.

5. Олин, Р. А. Управление рисками информационной безопасности при внедрении автономных агентов с искусственным интеллектом / Р. А. Олин, Р. Р. Шарипов, В. В. Бондаренко // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 35-42. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-35-42. – EDN UPTRWD.

6. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97-103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010. – EDN PHWCRQ.

7. A framework for co-location patterns mining in big spatial data / A. Garaeva, F. Makhmutova, I. Anikin, K. U. Sattler // Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM), Saint-Petersburg, 24–26 мая 2017 года. – Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. – P. 477-480. – DOI 10.1109/SCM.2017.7970622. – EDN XXEUDR.

8. Nguyen, T. T. Trust-aware semantic data Virtualization for decentralized systems with context-adaptive query orchestration / T. T. Nguyen, Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 102, № 5-5. – P. 117-127. – DOI 10.36871/26189976.2026.05-5.010. – EDN XRFZFC.

9. Investigation of mechanical properties of thermal barrier coating by tested on a 4-point bending / A. R. Ibragimov, L. N. Shafigullin, A. T. Gabdrakhmanov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, № 5. – P. 2308-2317. – EDN XFLTXX.

10. Хорев, А. А. Средства выявления систем скрытого видеонаблюдения / А. А. Хорев // Специальная техника. – 2015. – № 6. – С. 53-61. – EDN VBKUUH.

УДК 004.056

ОТ ИДЕНТИЧНОСТИ К ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЦИФРОВОГО ДЕЙСТВИЯ

Концептуальное видение

Карпиков А.С., независимый исследователь архитектур цифровой идентичности, г. Брянск, Россия;
E-mail: ask-post@yandex.ru

FROM IDENTITY TO DIGITAL ACTION ACCOUNTABILITY

Conceptual Vision Paper

Karpikov A.S., Independent Researcher in Digital Identity Architecture, Bryansk, Russia;
E-mail: ask-post@yandex.ru

Аннотация

Цифровая цивилизация подошла к порогу, на котором прежнее понимание доверия перестаёт быть достаточным. Десятилетиями цифровое доверие строилось вокруг одного вопроса: кто получает доступ к системе? Этот подход создал инфраструктуру современного цифрового мира – от паролей до биометрии, от многофакторной аутентификации до интеллектуальных систем управления доступом. В статье показано, что данная логика прошла три последовательные стадии – доверие к цифровой личности, расширение проверяемых признаков и интеллектуальное управление доверием, после чего достигла своего концептуального предела. Обосновывается тезис о том, что сегодня цифровое действие – перевод средств, электронная подпись, распоряжение, поданное через интерфейс, – способно порождать реальные, часто необратимые экономические, юридические и общественные последствия, поэтому вопрос доверия должен быть переформулирован: важно понимать не только, кто получил доступ, но кто совершает значимое действие и кто отвечает за его последствия. Вводится формула «человек → цифровое действие → реальные последствия» и предлагается концептуальная модель DeepTrust, различающая три измерения ответственности цифрового действия: атрибуцию, причинность и распределение ответственности. Проведено разграничение предложенной модели с моделями Zero Trust и Risk-Based Authentication, отвечающими на вопрос о реакции системы «здесь и сейчас», тогда как ответственность цифрового действия формирует институциональный и юридический стандарт, применимый после наступления последствий. Показано, что распределённый характер действий, совершаемых с участием искусственного интеллекта, требует явной постановки вопроса об атрибуции внутри цепочки делегирования, включающей человека, разработчика, оператора и автономного агента. Рассмотрены проекции перехода к архитектуре DeepTrust для финансовых систем, государственного управления и искусственного интеллекта, а также сформулированы возможные институциональные индикаторы такого перехода – юридические прецеденты распределения ответственности, трансграничные соглашения об атрибуции и изменение стандартов аудита. Статья адресована участникам международной дискуссии в рамках Kazan Digital Week и формулирует повестку дальнейшего исследования архитектур цифрового доверия следующего поколения.

Ключевые слова: цифровое доверие; цифровое действие; ответственность; атрибуция; причинность; цифровая идентичность; DeepTrust; Zero Trust; искусственный интеллект; цифровой суверенитет

Abstract

Digital trust has traditionally been understood as the ability to determine who is authorized to access a digital system. Decades of technological progress – from passwords and multi-factor

authentication to Zero Trust and AI-assisted risk assessment – have substantially improved this capability while preserving the same underlying architectural assumption: trust is established through identity verification.

This paper argues that the rapid evolution of digital environments has exposed the conceptual limits of this paradigm. As digital actions increasingly generate irreversible financial, legal, and societal consequences, the central challenge is no longer determining who gained access, but establishing who performed a consequential digital action and who bears responsibility for its outcomes.

To address this shift, the paper introduces DeepTrust, a conceptual framework that extends conventional identity-centric trust models by placing accountability for digital actions at the center of trust architecture. The framework distinguishes three complementary dimensions of accountability – attribution, causality, and responsibility allocation – and demonstrates how they redefine the architectural foundations of digital trust beyond authentication and access control.

Unlike existing engineering approaches such as Zero Trust and Risk-Based Authentication, which optimize trust decisions at the moment of access, the proposed framework addresses the institutional and legal continuity of trust throughout the entire lifecycle of a consequential digital action. The paper further discusses the implications of this transition for financial systems, public administration, artificial intelligence governance, and digital sovereignty.

The significance of this research lies in proposing a new conceptual foundation for digital trust architecture. Rather than introducing another authentication mechanism, it reframes trust as an architectural property of accountable digital action, establishing a research agenda for the next generation of digital systems in the era of autonomous technologies and artificial intelligence.

Keywords: digital trust; digital action; accountability; attribution; causality; digital identity; DeepTrust; Zero Trust; artificial intelligence; digital sovereignty

Введение

Цифровой мир изменился быстрее, чем наше понимание доверия

Цифровая трансформация последних десятилетий не просто ускорила процессы – она изменила саму природу того, что значит действовать в цифровой среде. Прежде цифровые системы служили в первую очередь для хранения, обработки и передачи информации. Сегодня они стали основой процессов, где цифровое действие порождает реальные, часто необратимые последствия: финансовые операции, юридически значимые решения, взаимодействие граждан и государства, работу критических общественных систем.

Одновременно с этим складывался и подход к цифровому доверию. Долгое время центральным оставался один вопрос: кто получает доступ к системе? Ответ на него потребовал десятилетий инженерной работы – паролей, токенов, биометрии, многофакторной аутентификации – и именно эта работа стала фундаментом современного цифрового мира.

В этом и заключается архитектурный парадокс цифровой цивилизации: она построила системы, где действие обретает реальные, часто необратимые последствия, но архитектура этих систем не фиксирует физическое присутствие субъекта, стоящего за этим действием.

Возможно, проблема заключается не в том, как мы защищаем цифровую идентичность. Возможно, проблема заключается в том, как мы её понимаем.

Рост числа случаев дистанционного мошенничества, а также возрастающее внимание государства к вопросам защиты граждан при совершении юридически значимых цифровых действий свидетельствуют о том, что существующая архитектура цифрового доверия сталкивается с системными ограничениями. Несмотря на постоянное совершенствование механизмов идентификации, аутентификации и контроля доступа, проблема не утрачивает своей актуальности. Настоящая работа исходит из предположения, что причина заключается не только в эффективности существующих средств защиты, но и в ограниченности самой архитектурной модели цифрового доверия, ориентированной преимущественно на предоставление доступа, а не на обеспечение ответственности за цифровое действие и его последствия.

Но характер цифровых действий изменился быстрее, чем модель доверия, построенная вокруг доступа. Один клик сегодня может запустить финансовую операцию на значительную сумму, изменить юридический статус человека или организации, повлиять на работу системы, от которой зависят другие люди. Вопрос доверия поэтому нужно задать заново:

«Достаточно ли знать, кто получил доступ к системе, или необходимо понимать, кто действительно совершает значимое цифровое действие и кто отвечает за его последствия?»

Это уже не только вопрос технологической защиты. Это вопрос о том, как цифровая цивилизация будет распределять доверие и ответственность в мире, где граница между цифровым и реальным фактически стёрлась.

Настоящая статья не предлагает немедленного ответа на этот вопрос. Её задача – исследовать, достаточно ли существующей системы координат цифрового доверия для мира, в котором цифровое действие становится причиной реальных последствий.

Методика

Исследование выполнено в жанре vision paper и основано на концептуально-теоретическом анализе эволюции моделей цифрового доверия. Методологическую базу составили: во-первых, историко-логическая реконструкция трёх последовательных стадий развития систем аутентификации и авторизации; во-вторых, сравнительный анализ предлагаемой модели с существующими инженерными практиками – Zero Trust и Risk-Based Authentication [1, 2]; в-третьих, построение авторской концептуальной модели («DeepTrust»), включающей три измерения ответственности цифрового действия – атрибуцию, причинность и распределение ответственности; в-четвёртых, сценарный (футурологический) анализ возможных институциональных последствий перехода к предложенной модели для финансового сектора, государственного управления и регулирования искусственного интеллекта. Эмпирические данные и количественные измерения в рамках настоящей работы не применялись; работа носит концептуально-аналитический характер.

Основная часть

Часть I. Эволюция цифрового доверия: от доступа к действию

1.1. Первая стадия: доверие к цифровой личности

Первые цифровые системы решали простую задачу: определить, кому разрешено взаимодействовать с информационной системой. Учётная запись, связанная с данными пользователя, стала главным элементом доверия.

Вопрос этого этапа был прямым: имеет ли человек право получить доступ?

Для раннего этапа цифровизации этого было достаточно – главным объектом защиты являлись сами данные и информационные ресурсы. Доверие строилось вокруг одного факта: цифровая личность принадлежит определённому человеку.

1.2. Вторая стадия: расширение признаков

По мере развития цифровых сервисов подтверждения личности стало недостаточно. Системы начали учитывать устройство, дополнительные способы подтверждения, поведенческие особенности, контекст обращения.

Вопрос сместился: насколько можно быть уверенным, что действие выполняет именно тот человек, которому принадлежит цифровая личность? Этот этап заметно повысил устойчивость цифровых систем. Но принцип остался прежним: доверие формируется через анализ информации о человеке.

1.3. Третья стадия: интеллектуальное управление доверием

Современные системы используют куда более сложные модели – анализ поведения, уровня риска, изменения условий действия в реальном времени. Развитие искусственного интеллекта позволило системам принимать точные решения в сложной, быстро меняющейся среде.

Три стадии объединяет одна логика: расширение признаков, по которым система оценивает человека, прежде чем разрешить действие. Именно эта логика подходит к своему пре-

делу – не потому что перестала работать, а потому что перестал быть достаточным сам вопрос, на который она отвечает.

Изменение природы цифрового действия

Три описанных стадии решали одну и ту же задачу: обеспечить безопасный доступ. Но сегодня одно цифровое действие способно изменить финансовое состояние человека, повлиять на его юридические права, запустить процесс, который система – или государство – уже не сможет отменить одним движением. Изменился не масштаб использования технологий.

Изменился предмет вопроса доверия. Если раньше было достаточно понимать, кто получил доступ к системе, то сегодня нужен ответ на другой вопрос: кто действительно совершает действие, способное изменить реальный мир, и кто за это отвечает?

Исследовательский вывод

Однако даже эта модель по-прежнему отвечает главным образом на вопрос, можно ли доверять совершаемому действию в момент его выполнения. Она ещё не отвечает на вопрос, кто и каким образом несёт ответственность за последствия этого действия после того, как они наступили. История цифрового доверия показывает предел существующей модели. Дальнейшее исследование связано уже не с расширением признаков идентичности, а с переосмыслением самого предмета цифрового доверия.

Часть II. Концептуальное переосмысление

Доверие в цифровых системах исторически строилось вокруг вопроса: кто получает доступ? Данные о человеке были приняты за самого человека – учётная запись, атрибуты и биометрия стали синонимом того, кто стоит за действием. Современные системы научились отлично отвечать на вопрос о принадлежности цифровой личности. Но между фактом входа и утверждением «именно этот человек совершает данное действие» остаётся зазор: делегирование, автоматизация, посредничество цифрового агента.

Рост возможностей систем изменил масштаб последствий: ошибка сегодня способна повлиять на деньги, права и работу государства. Поэтому вопрос доверия смещается. Речь не идёт об отказе от наработок в области идентичности – они остаются необходимым основанием. Речь о достройке системы координат: важно понимать не только личность, но и связь между человеком, его действием и последствиями этого действия.

2.1. Цепочка цифрового доверия

Доверие следующей эпохи связано не только с человеком как участником системы – оно связано с непрерывной цепочкой, связывающей намерение и результат: «человек → цифровое действие → реальные последствия».

В этой цепочке рождается новое измерение доверия – ответственность. Если цифровое действие создаёт реальные последствия, важно понимать не только его происхождение, но и то, как оно связано с результатом, который оно порождает, и кто за этот результат отвечает.

2.2. Ответственность цифрового действия: три измерения

Название статьи содержит понятие «ответственность цифрового действия», и оно требует определения. Имеет смысл различать как минимум три его слоя:

Атрибуция – вопрос о том, кто фактически совершил действие. Это не то же самое, что личность, подтверждённая при входе в систему: между входом и конкретным действием могут находиться делегирование, автоматизация, посредничество цифрового агента.

Причинность – вопрос о том, как именно действие связано с последствием, которое оно вызвало. Одно и то же действие может быть непосредственной причиной события или лишь одним из звеньев в цепи.

Распределение ответственности – вопрос о том, кто несёт издержки и обязательства, когда последствие наступило: сам человек, организация, предоставившая инструмент, или система, действовавшая автономно.

Совокупность этих трёх измерений формирует новую систему координат цифрового доверия, которую мы называем DeepTrust. DeepTrust – не новый набор факторов проверки, а новое архитектурное основание доверия.

По мере роста автоматизации эти три слоя всё чаще расходятся. Именно в этом расхождении рождается новый вопрос доверия: не факт входа в систему, а способность проследить и распределить ответственность вдоль всей цепочки от намерения до последствия.

2.3. От доверия к личности к доверию к взаимодействию

Цифровая личность остаётся важной частью будущих систем – но становится одним элементом более широкой картины. Доверие возникает не только потому, что известно, кто человек, но потому, что понятно, какое действие он совершает, какое значение оно имеет и кто отвечает за его результат.

2.4. Отличие от смежных моделей

Здесь уместно провести чёткую границу. Модели Zero Trust и Risk-Based Authentication [1, 2] уже сегодня решают похожую на первый взгляд задачу: оценивают контекст действия и адаптируют уровень проверки к его значимости. Это состоявшиеся, работающие инженерные практики, и настоящая статья не предлагает их заменить.

Но это ответ на другой вопрос – как система должна отреагировать на действие здесь и сейчас. Zero Trust – это инженерный стандарт защиты периметра «в моменте». Ответственность цифрового действия – это институциональный и юридический стандарт, который начинает работать «завтра», когда последствие уже наступило и обществу нужно понять, кто перед законом и партнёром отвечает за произошедшее.

2.5. Новое понимание безопасности и принципы будущего доверия

Безопасность будущего связана не только с защитой информации – она связана с доверием к действиям и ясностью в вопросе ответственности. Это опирается на четыре принципа:

1. Доверие должно распространяться не только на личность, но и на действие.

2. Значимость действия (масштаб последствий) определяет уровень доверия и ясности ответственности.

3. Доверие формируется заново в каждом значимом действии, а не задаётся один раз при входе.

4. Чем шире цифровые системы действуют самостоятельно, тем яснее должна быть модель ответственности за эти действия.

2.6. Итог: новая система координат

Таким образом, предмет цифрового доверия расширяется. Идентичность остаётся необходимым основанием, однако уже не исчерпывает всей модели доверия. Если эта система координат отражает направление развития цифровой цивилизации, её последствия выходят далеко за пределы информационной безопасности и требуют отдельного рассмотрения.

Часть III. Футурологический прогноз

3.1. Следующий этап цифровой цивилизации

Если переход от доверия к доступу к доверию к цифровому действию действительно отражает следующую стадию развития цифровой цивилизации, то изменится не только понимание безопасности. Изменятся принципы организации финансовых систем, государственного управления, регулирования искусственного интеллекта и международного цифрового сотрудничества. Ниже рассмотрены некоторые из этих возможных последствий.

3.2. Финансы: доверие к действию в мире мгновенных решений

Финансовые системы одними из первых столкнутся с этим вопросом в полном объёме. Уже сегодня значительная часть операций совершается за секунды, а в ближайшие годы всё больше решений будет приниматься не человеком в моменте, а инструментом, действующим по его поручению.

Здесь и рождается новое напряжение: если алгоритм исполнил операцию в заданных границах, но результат оказался неожиданным, – вопрос не в том, кто вошёл в систему, а в том, где именно в цепочке «поручение → исполнение → результат» лежит ответственность. Будущее финансовых систем – это более точная модель ответственности за решения, принятые от имени человека.

3.3. Государство: от поставщика услуг к институту ответственности

Роль государства в новой модели цифрового доверия – не техническая, а институциональная. Государство перестаёт быть только поставщиком цифровых услуг и стороной, определяющей права доступа. Оно становится институтом, который формирует и удерживает саму возможность доверия цифровому действию.

Это означает три функции:

– быть арбитром в спорах об атрибуции;

– гарантировать связь между цифровым действием и юридической ответственностью;

– выстраивать рамки ответственности за действия, пересекающие границы юрисдикций.

В этом смысле государственный цифровой суверенитет – не политический лозунг, а инфраструктурная необходимость: без национальной способности устанавливать атрибуцию и распределять ответственность за цифровое действие ни одна из перечисленных функций не может быть выполнена.

3.4. Искусственный интеллект: доверие в цепочке делегирования

Искусственный интеллект (далее – ИИ) – область, где новый вопрос доверия проявляется острее всего. Человек всё чаще поручает действие цифровому агенту, который может обращаться к другим вспомогательным агентам. Возникает распределённое действие – действие, у которого больше нет единственной точки исполнения. В этой цепочке вопрос «кто совершил действие» перестаёт иметь единственный ответ.

Кто совершил действие: человек, поставивший цель, разработчик, оператор или сам агент?

Ответ не будет единым, но сам вопрос должен быть поставлен явно, прежде чем цепочки делегирования станут непрозрачными. Задача ближайшего десятилетия – не запретить делегирование ИИ, а создать понятную модель распределения ответственности вдоль цепочки, в которой участвует не только человек.

3.5. Индикаторы перехода к архитектуре DeepTrust

Международное признание атрибуции не заменяет государственный цифровой суверенитет, а предполагает его наличие как необходимое условие доверия между юрисдикциями.

Как общество поймёт, что переход от парадигмы доступа к парадигме ответственности состоялся? Это произойдёт не с появлением нового программного обеспечения, а с возникновением конкретных институциональных признаков.

Во-первых, появятся устойчивые юридические прецеденты распределения ответственности между человеком, разработчиком и автономным агентом ИИ.

Во-вторых, сформируются трансграничные соглашения не о защите данных, а о взаимном признании атрибуции цифровых действий.

В-третьих, в финансовом и государственном секторе стандарты аудита сместятся с проверки «прав доступа» на проверку «моделей распределения ответственности».

3.6. Повестка для международной дискуссии

Представленная концепция не предлагает готовых инженерных решений, но задаёт вектор для стратегической работы.

Именно эти вопросы – как формально различать атрибуцию и причинность в конкретных отраслях, как выстраивать модели ответственности для цепочек делегирования с участием ИИ и как государствам согласовывать эти рамки – должны стать рабочей повесткой Kazan Digital Week.

Главный вызов форума – не поиск нового алгоритма аутентификации, а формирование общего языка для проектирования институтов доверия следующего поколения.

Выводы

Цифровая цивилизация прошла путь от простого вопроса «кто получает доступ» к куда более сложному – «кто совершает действие, меняющее реальный мир, и кто за него отвечает». Это не отказ от идентичности, а её продолжение: «человек → цифровое действие → реальные последствия».

Формула, с которой начиналась эта статья, теперь может быть прочитана иначе – не как красивое выражение, а как карта, на которой обозначены три вопроса, которые предстоит решить следующей эпохе цифрового доверия: кто действует, как действие связано с последствием и кто несёт за него ответственность.

Если формулировать это прямо: главный герой этого текста – не мошенничество и не злоумышленник. Главный герой – архитектурная ошибка цифровой цивилизации, и именно её предстоит исправить следующему поколению цифрового доверия.

Если изложенная гипотеза верна, то следующий этап исследований должен быть направлен не на совершенствование механизмов аутентификации, а на создание архитектур, способных устанавливать проверяемую связь между физическим субъектом, цифровым действием и его юридически значимыми последствиями. Именно появление подобных архитектур станет критерием перехода к следующему поколению цифрового доверия.

Список литературы

1. ISO/IEC 14443-4. Identification cards – Contactless integrated circuit cards – Transmission protocol.
2. EMVCo. EMV Contactless Specifications for Payment Systems.
3. GlobalPlatform. Card Specification v2.3.1.
4. FIDO Alliance. FIDO2: Client to Authenticator Protocol (CTAP).
5. FIDO Alliance. Web Authentication (WebAuthn) Specification.
6. ГОСТ Р 34.12–2015. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры.
7. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных».
8. Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ «Об электронной подписи».

УДК 004.94

КЛАССИФИКАЦИЯ АКТИВНЫХ ОКОН ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕЙСТВИЙ СОТРУДНИКОВ В КОРПОРАТИВНОЙ ИТ-СРЕДЕ

Катасёв А.С., д.т.н., профессор;
ORCID: 0000-0002-9446-0491;
Алексеев А.А., магистрант кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1950-1249

CLASSIFICATION OF ACTIVE WINDOWS OF USER APPLICATIONS FOR MONITORING EMPLOYEE ACTIONS IN A CORPORATE IT ENVIRONMENT

Katasev A.S., Doctor of Technical Sciences, Professor;
ORCID: 0000-0002-9446-0491;
Alekseev A.A., master's student of the information security systems department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-1950-1249

Аннотация

Статья посвящена разработке модуля классификации активных окон пользовательских приложений с использованием сверточных нейронных сетей. Обнаружение и классификация окон открытых приложений по снимку экрана является актуальной задачей в сфере контро-

ля действий сотрудников в корпоративной ИТ-среде. Для решения задачи выбран общедоступный набор данных GroundCUA с платформы Hugging Face. Набор содержит скриншоты 87 программ, из которых для обучения были отобраны 10. Набор данных был обогащен с использованием разработанной программы на языке C++. Итоговый объем выборки составил 8101 изображений. Все данные случайным образом были разделены на обучающую (80%), валидационную (10%) и тестовую (10%) выборки. Построение модели осуществлялось в среде разработки Jupyter Lab с использованием языка Python. Поставленная задача декомпозирована на два последовательных этапа: детекция окон с полноэкранного скриншота и классификация выделенных окон. Для задачи детекции использовалась модель YOLOv8n, имеющая точность классификации 99,8% на тестовой выборке. Для задачи классификации использована нейронная сеть EfficientNetV2S, имеющая точность классификации 98,34% на тестовых данных. На основе моделей разработан модуль классификации для платформы JumpServer. Результат классификации записывается в базу данных. Таким образом, модели детекции и классификации окон пользовательских приложений можно эффективно использовать в качестве инструмента для контроля действий сотрудников в корпоративной ИТ-среде по видеозаписи RDP сессий.

Ключевые слова: детекция объектов, классификация объектов, сверточная нейронная сеть, контроль действий сотрудников

Abstract

This article is devoted to the development of a module for classifying active windows of user applications using convolutional neural networks. Detecting and classifying open application windows from a screenshot is a pressing issue in the field of employee activity monitoring in corporate IT environments. To solve this problem, a publicly available GroundCUA dataset from the Hugging Face platform was selected. The dataset contains screenshots of 87 programs, 10 of which were selected for training. The dataset was enriched using the developed C++ program. The final sample size was 8101 images. All data were randomly divided into training (80%), validation (10%), and test (10%) sets. The model was built in the Jupyter Lab development environment using Python. The task was decomposed into two sequential stages: window detection from a full-screen screenshot and classification of the selected windows. For the detection task, the YOLOv8n model, which has a classification accuracy of 99.8% on the test set, was used. The EfficientNetV2S neural network, which achieved 98.34% classification accuracy on test data, was used for the classification task. A classification module for the JumpServer platform was developed based on these models. The classification results are stored in a database. Therefore, these models for detecting and classifying user application windows can be effectively used as a tool for monitoring employee activity in corporate IT environments using video recordings of RDP sessions.

Keywords: object detection, object classification, convolutional neural network, employee behavior monitoring

Введение

Классификация окон пользовательских приложений по снимку экрана является актуальной задачей в сфере контроля действий сотрудников в корпоративной ИТ-среде [1]. Эта задача позволяет автоматизировать мониторинг деятельности пользователей на основе видеозаписи сессий и реализуется в таких классах решений, как UAM (User Activity Monitoring).

Задача классификации пользовательских приложений является сложной из-за высокой вариативности их внешнего вида. Он может изменяться в зависимости от настроек операционной системы, выбранной темы, разрешения экрана, настроек масштабирования, а также различных версий приложений. Одним из перспективных методов решения этой задачи является применение сверточных нейронных сетей [2, 3].

Традиционные подходы к распознаванию открытых окон приложений с использованием OCR не позволяют достичь высокой точности [4]. Использование сверточных нейронных

сетей для решения поставленной задачи позволяет повысить устойчивость распознавания приложений. Кроме того, использование нейросетевого моделирования [5, 6] обеспечивает дополнительный контроль действий пользователей.

За счет распознавания в реальном времени администраторы и сотрудники информационной безопасности способны вовремя замечать и реагировать на потенциальные угрозы. Этот факт указывает на необходимость разработки и внедрения современных технологий [7], позволяющих автоматизировать распознавание активных окон пользовательских приложений. Таким образом, задача построения моделей детекции и классификации активных окон пользовательских приложений и разработка на их основе интеллектуального модуля классификации является актуальной.

Выбор, описание и подготовка данных для моделирования

В работе для моделирования использован набор данных GroundCUA с платформы huggingface.com [8]. Он содержит скриншоты 87 программ. Для обучения взяты снимки экрана следующих программ: Chromium, IntelliJ IDEA, LibreOffice Calc, LibreOffice Draw, LibreOffice Impress, LibreOffice Writer, Mozilla, PyCharm, VLC Media Player и VSCode.

Для оценки качества данных произведен их предварительный анализ. В наборе данных обнаружены ошибки и дубликаты изображений, которые были удалены. Также набор данных не содержит многие необходимые для контроля действий сотрудников программы. Снимки экрана для классов «Командная строка», «Windows PowerShell», «Блокнот», «Панель управления», «Проводник» были собраны и размечены самостоятельно. Также ввиду малого количества и недостаточной вариативности вручную были добавлены снимки программ Chromium, IntelliJ IDEA, Mozilla, PyCharm и VSCode. Для автоматизированного решения этой задачи разработана программа на языке C++, которая при запуске сохраняет снимок экрана и необходимые метаданные в определенную директорию на компьютере.

Полученный набор данных был разбит случайным образом на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 80/10/10 с помощью скрипта на Python, использующего функцию shuffle из модуля random. В результате анализа на наличие дубликатов среди собранных вручную данных в общей сложности было удалено 375 файлов. В случае, если одинаковые изображения находились в обучающей и валидационной выборке – единственный экземпляр сохранялся в обучающей выборке.

На рис. 1 представлено распределение изображений по классам после предобработки данных.

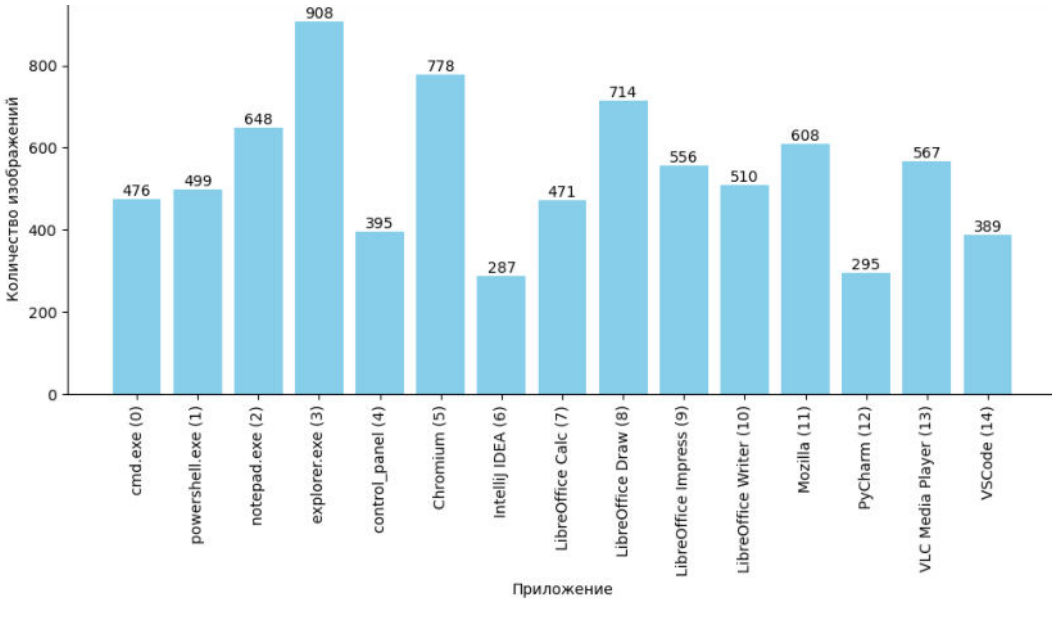


Рис. 1. Распределение данных по классам

Таким образом, подготовленный набор данных содержал достаточное количество экземпляров снимков экранов по 15 классам пользовательских приложений.

Выбор и описание нейросетевой модели для обнаружения окон

Подготовленные данные представляют собой снимки экрана, которые содержат произвольное количество открытых окон. Классификация окон по такому скриншоту нецелесообразна, так как модель должна одновременно решать задачи локализации и классификации, что значительно усложнит обучение и снизит качество решений. В связи с этим задача была декомпозирована на два последовательных этапа: детекция окон и их последующая классификация.

Для решения задачи детекции окон использованы модели семейства YOLO. Проведено сравнение следующих моделей: YOLOv8n, YOLOv8x, YOLO26n, YOLO26x. Для их дообучения собран набор из 2400 снимков экрана размером 1920*1080 пикселей. На каждом изображении были расположены от 0 до 4 активных окон. Каждое изображение было подробно аннотировано, в том числе определены ограничивающие рамки для каждого окна.

Результаты обучения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты обучения моделей для обнаружения окон

Модель	Precision	Время обучения	Время вывода (мс)
YOLOv8n	0,998	13:30	4,5
YOLOv8x	0,999	1:44:56	33,2
YOLO26n	0,979	12:47	4
YOLO26x	0,986	7:20:10	30,1

Лучшей моделью для решения задачи детекции признана YOLOv8n, имеющая высокую точность на тестовой выборке, низкое время обучения и вывода модели. Также приемлемый результат показала модель YOLO26n. Модели YOLOv8x и YOLO26x имеют большее время обучения и вывода, поэтому их использование негативно скажется на производительности системы.

Выбор и описание нейросетевой модели для классификации окон

Построение нейросетевой модели осуществлялось в среде разработки Jupyter Lab с использованием языка программирования Python. Для решения задачи классификации окон пользовательских приложений разработаны несколько сверточных нейронных сетей. Для ускорения обучения, возможности использования небольшого набора данных и увеличения точности выбор сделан в пользу нейронных сетей, предобученных на наборе данных ImageNet. Были рассмотрены модели ResNet18, MobileNetV2 и Efficient-NetV2S. Модели были дообучены на снимках экрана окон приложений с использованием метода переноса обучения. Для этого были заморожены все веса нейронных сетей, кроме последних блоков и классификатора. Классификаторы были заменены на линейный слой с нужным количеством классов.

Результаты сравнения качества моделей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты обучения моделей для классификации окон

Модель	Validation Accuracy	Train Accuracy	Время вывода (мс)
ResNet18	0,8508	0,9890	3
MobileNetV2	0,8670	0,9721	7
EfficientNetV2	0,8985	0,9813	20

Точность на обучающей выборке оказалась значительно выше точности на валидационной выборке. При постоянно повышающейся точности на обучающей выборке, точность на валидационной переставала расти и снижалась после 20-й эпохи. Это свидетельствовало о начале переобучения. Для дальнейшего повышения точности необходима была аугментация данных [9]. Она позволила использовать уникальные изображения для каждой эпохи обучения и не позволила модели запомнить все обучающие примеры.

Для обучения каждой модели было добавлено 2 трансформации:

– Torchvision.transforms.v2.RandomAffine – применение случайных аффинных преобразований (случайный сдвиг до 5% по осям *x* и *y* и масштабирование до 10%);

– Torchvision.transforms.v2.ColorJitter – изменяет яркость, контрастность, насыщенность и цветовой тон изображения.

В табл. 3 приведены результаты обучения для каждой модели с применением аугментации.

Таблица 3

Результаты обучения моделей с применением аугментации данных

Модель	Validation Accuracy	Train Accuracy	Время вывода (мс)
ResNet18	0,9371	0,9890	3
MobileNetV2	0,8873	0,9721	7
EfficientNetV2	0,9421	0,9813	20

Использование указанных методов аугментации позволило избежать переобучения моделей. Точность на валидационной выборке выросла на 8,6% для модели ResNet18, на 2% для модели MobileNetV2 и на 4,7% для EfficientNetV2S.

В разработанных моделях применен оптимизатор AdamW. Также в качестве оптимизатора был опробован алгоритм стохастического градиентного спуска, использование которого позволило повысить точность моделей. Точность на валидационной выборке выросла на 0,1% для модели ResNet18, на 3,8% для модели MobileNetV2 и на 0,7% для EfficientNetV2S.

Планировщик скорости обучения позволил корректировать скорость обучения для каждой эпохи. Корректное управление скоростью позволило ускорить обучение, улучшить сходимость моделей и избежать их застревание в локальных минимумах [10].

В качестве планировщика были опробованы следующие методы:

– ExponentialLR (optimizer, gamma=0.95) – после каждой эпохи скорость обучения уменьшается на 5%;

– CosineAnnealingWarmRestarts (optimizer, T_0 = num_epochs // 3, T_mult=1, eta_min=1e-6) – learning rate изменяется по косинусоидной кривой.

Наибольшую точность показали модели с применением планировщика CosineAnnealingWarmRestarts.

В табл. 4 приведены итоговые результаты обучения.

Таблица 4

Итоговые результаты обучения моделей

Модель	Validation Accuracy	Train Accuracy	Время вывода (мс)
ResNet18	0,9289	0,9890	3
MobileNetV2	0,9208	0,9721	7
EfficientNetV2	0,9655	0,9813	20

Таким образом, модель с наибольшей точностью на валидационной выборке была получена на основе EfficientNetV2S с использованием аугментаций, алгоритм стохастического градиентного спуска, планировщиков обучения CosineAnnealingWarmRestarts и начальным значением скорости обучения η_0=1e-2. Проверка модели на тестовой выборке показала точность 98,34%. Недостатком EfficientNetV2S в сравнении с ResNet18 и MobileNetV2 является низкая производительность из-за большого количества параметров.

Для модели с наибольшей точностью построена матрица ошибок. Ее построение выполнено при помощи функции confusion_matrix библиотеки sklearn и представлена на рис. 2.

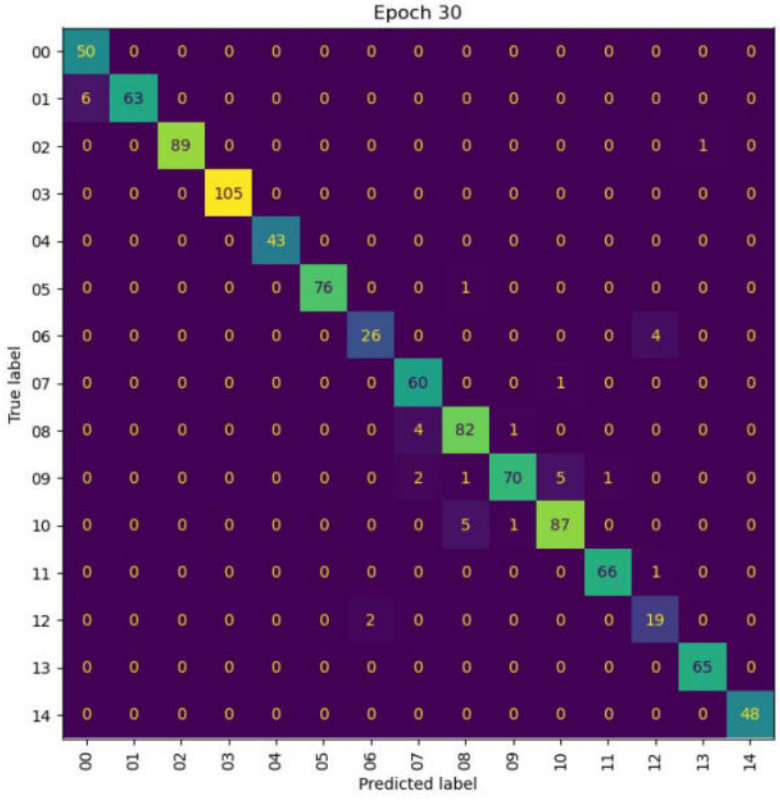


Рис. 2. Матрица ошибок для модели EfficientNet

Матрица ошибок позволила увидеть истинно положительные (True Positive), истинно отрицательные (True Negative), ложноположительные (False Positive) и ложноотрицательные (False Negative) примеры.

Разработка модуля классификации окон

Разработанный модуль предназначен для использования в платформе JumpServer. Это решение является открытой платформой для управления привилегированным доступом (PAM). Модуль RDP Proxy использует в качестве основы проект Redemption компании Wallix. Это открытое решение для проксирования RDP и VNC подключений. Одной из функций является возможность мониторинга пользовательской сессии в реальном времени за счет сохранения снимков экрана в базе данных Redis. Таким образом, модуль RDP Detector способен считывать содержимое экрана в реальном времени из базы данных для анализа.

Для анализа изображений последовательно используются две сверточные нейронные сети: детектор на основе YOLOv8n и классификатор на основе EfficientNetV2S. Результаты классификации записываются в базу данных и могут быть использованы для аудита открытых приложений. Их список может быть просмотрен во вкладке «Команды» результатов сессии.

На рис. 3 представлена демонстрация результатов работы модуля классификации окон пользовательских приложений.

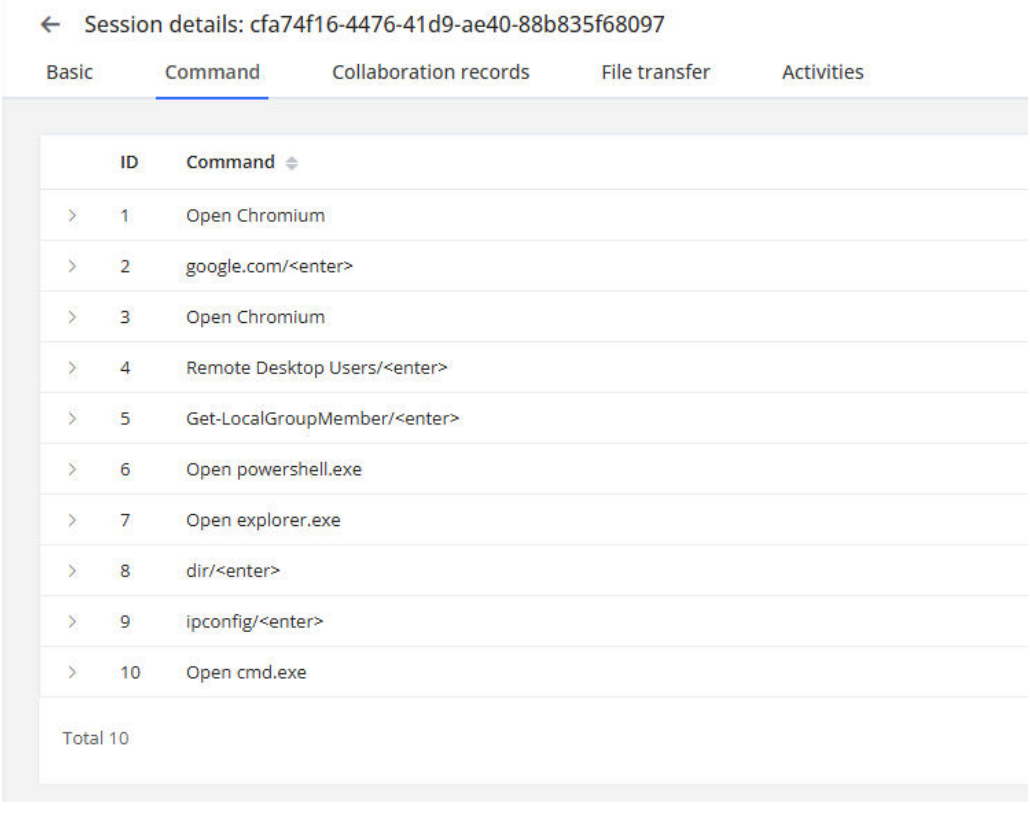


Рис. 3. Пример сохраненных событий в модуле классификации

Заключение

В ходе исследования проведен анализ задачи классификации окон пользовательских приложений, подготовлены данные для анализа и построения моделей машинного обучения, проведено построение моделей детекции с использованием моделей семейства YOLO, проведено построение моделей классификации на базе ResNet18, MobileNetV2 и EfficientNetV2S, разработан модуль классификации на основе построенных моделей. Построенные модели детекции и классификации окон пользовательских приложений можно эффективно использовать в качестве инструмента для контроля действий сотрудников в корпоративной ИТ-среде по видеозаписи их RDP сессий.

Список литературы

1. Днепровская, Н. В. Система менеджмента знаний в стратегическом управлении университетом / Н. В. Днепровская, И. В. Шевцова // Бизнес-информатика. – 2023. – Т. 17, № 2. – С. 20-40.

2. Ranasinghe, N. K. The Role of Convolutional Neural Networks in Cricket Performance Analysis / N. K. Ranasinghe, L. V. Kruglova // RUDN Journal of Engineering Research. – 2024. – Vol. 25, № 2. – P. 162-172.

3. Катасёв, А. С. Распознавание рукописных символов на базе искусственной нейронной сети / А. С. Катасёв, Д. В. Катасёва, А. П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 11. – С. 173-176.

4. Sharma, R.Sh. Analysis of routing and security issues in OLSR protocol for video streaming over MANET / R.Sh. Sharma, B. Keswani, D. Goyal // Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography. – 2022. – Vol. 25, № 4. – P. 1203-1211.

5. Катасёва, Д. В. Нейронечеткая модель оценки вредоносности сетевого трафика в Android-приложениях / Д. В. Катасёва, Д. Д. Лосева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 1. – С. 77-80.

6. Bikmukhamedov, R. F. Generative transformer framework for network traffic generation and classification / R. F. Bikmukhamedov, A. F. Nadeev // T-Comm. – 2020. – Vol. 14, № 11. – P. 64-71.

7. Минниханов, Р. Н. Стратегия развития интеллектуальных транспортных систем в г. Казани / Р. Н. Минниханов, Л. Б. Шигин // Вестник НЦБЖД. – 2013. – № 1 (15). – С. 18-21.

8. Wu, G. AI chatbots and cybersecurity: What do they tell the public? / G. Wu, K. Draves-Hau, M. Del Buono // Global Health Economics and Sustainability. – 2025. – Vol. 3, № 1. – P. 254.

9. Дагаева, М. В. Технология построения отказоустойчивых нейросетевых моделей распознавания рукописных символов в системах биометрической аутентификации / М. В. Дагаева, М. А. Сулейманов, Д. В. Катасёва, А. С. Катасёв, А. П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 133-138.

10. Masyutina, G.V. Synthesis of a multi-mode intellectual system of management of a weakly formed process / G. V. Masyutina, V. F. Lubentsov, E. V. Lubentsova, E. A. Shakhrai // Modern Science and Innovations. – 2020. – № 1(29). – P. 18-24.

УДК 004.94

ДЕТЕКЦИЯ АТАК НА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Катасёв А.С., д.т.н., профессор;
ORCID: 0000-0002-9446-0491;
Ашанин Б.Д., магистрант кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-5555-5500

DETECTION OF ATTACKS ON WEB APPLICATIONS BASED ON MACHINE LEARNING

Katasev A.S., Doctor of Technical Sciences, Professor;
ORCID: 0000-0002-9446-0491;
Ashanin B.D., master's student of the information security systems department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-5555-5500

Аннотация

Статья посвящена решению задачи обнаружения атак на веб-приложения на основе методов машинного обучения. Актуальность работы обусловлена недостаточной эффективностью традиционных сигнатурных межсетевых экранов против новых и обфусцированных угроз, а также противоречием между высокой полнотой обнаружения и допустимой долей ложных срабатываний, характерным для вероятностных моделей. В ходе исследования подготовлены два размеченных набора данных: для анализа содержимого HTTP-запросов (98 598 записей, 68 признаков) на основе CSIC 2010 и журналов OWASP ModSecurity, а также для анализа веб-адресов (651 191 запись, 41 признак) из открытого репозитория Kaggle. Для классификации применены ансамблевые методы – случайный лес и градиентный бустинг XGBoost. Построена модель определения типа инъекционной атаки (SQLi, XSS, LFI, RCE, PHP-инъекции) с макро-усредненной F-мерой 0,97. Для веб-адресов проведено сравнение четырех конфигураций. Итоговой выбрана базовая модель XGBoost с точностью 86,37% и долей ложных срабатываний 4,07%, поскольку компенсация дисбаланса классов хотя и повышает

полноту обнаружения фишинга, но приводит к неприемлемому росту ложных блокировок. Ограничение по полноте устранено дополнением модели эвристическим и репутационным слоями, что повышает итоговую полноту обнаружения фишинга до 84,46% и снижает долю ложных блокировок до 0,97%. Разработанные модели могут служить первым рубежом защиты веб-приложений. Дальнейшие исследования направлены на расширение типов анализируемых атак и внедрение большой языковой модели для обработки неоднозначных случаев.

Ключевые слова: детекция атак, веб-приложение, машинное обучение, модель случайного леса, модель XGBoost, классификация

Abstract

This article explores the problem of detecting web application attacks using machine learning methods. The relevance of this work stems from the ineffectiveness of traditional signature-based firewalls against new and obfuscated threats, as well as the contradiction between high detection rates and an acceptable false positive rate, which is typical for probabilistic models. Two labeled datasets were prepared for the study: one for analyzing the contents of HTTP requests (98,598 records, 68 features) based on CSIC 2010 and OWASP ModSecurity logs, and one for analyzing web addresses (651,191 records, 41 features) from the open Kaggle repository. Ensemble methods, including random forest and XGBoost gradient boosting, were applied for classification. A model for identifying the type of injection attack (SQLi, XSS, LFI, RCE, PHP injection) with a macro-averaged F-score of 0.97 was built. Four configurations were compared for web addresses. The baseline XGBoost model with an accuracy of 86.37% and a false positive rate of 4.07% was selected as the final model, as class imbalance compensation, while improving phishing detection accuracy, leads to an unacceptable increase in false positives. This limitation in accuracy was eliminated by augmenting the model with heuristic and reputation layers, increasing the overall phishing detection accuracy to 84.46% and reducing the false positive rate to 0.97%. The developed models can serve as a first line of defense for web applications. Further research is aimed at expanding the types of attacks analyzed and implementing a large language model for handling ambiguous cases.

Keywords: Intrusion detection, web application, machine learning, random forest model, XGBoost model, classification

Введение

В настоящее время веб-приложения образуют основу цифровых сервисов в банковской сфере, государственном управлении, торговле и коммуникациях, что делает их одной из наиболее привлекательных мишеней для злоумышленников. Угрозы веб-приложениям проявляются на двух различных уровнях. Первый уровень – это атаки на само приложение через содержимое HTTP-запроса: внедрение SQL-кода, межсайтовое выполнение сценариев, обход путей к файлам, удаленное выполнение команд и инъекции интерпретируемого кода. Второй уровень – это атаки, реализуемые через вредоносные веб-адреса: ссылки на поддельные страницы аутентификации, ресурсы с подмененным содержимым и адреса, распространяющие вредоносное программное обеспечение.

Традиционные средства защиты веб-приложений – межсетевые экраны уровня приложений, построенные на сигнатурном принципе – сопоставляют входящий запрос или адрес с базами заранее известных вредоносных шаблонов. Такой подход надежно перехватывает известные угрозы при низкой доле ложных срабатываний, однако принципиально запаздывает. Вновь созданный или незначительно измененный вредоносный адрес остается невидимым до момента его включения в базу, а инъекционная атака, замаскированная средствами кодирования и обфускации, обходит сигнатуру по точному совпадению. Положение усугубляется массовой автоматической генерацией доменных имен и доступностью инструментов автоматического видоизменения полезной нагрузки атак. В этих условиях статические перечни сигнатур перестают быть достаточным средством защиты.

Альтернативой выступают методы машинного обучения [1-3], классифицирующие как веб-адреса, так и содержимое запросов по совокупности извлекаемых признаков. Обученная на размеченных данных модель способна распознавать не только известные, но и ранее не встречавшиеся вредоносные образцы, опираясь на характерные закономерности их строения, а не на точное совпадение со списком. Вместе с тем практическое применение таких моделей выявляет существенное противоречие. Повышение полноты обнаружения атак, как правило, сопровождается ростом доли ложных блокировок легитимного трафика, а сама по себе вероятностная оценка модели непрозрачна: она не объясняет, почему конкретный запрос признан опасным, что затрудняет аудит решений системы безопасности. Для практического шлюза, работающего в режиме реального времени, одинаково критичны и низкая доля ложных срабатываний, и объяснимость каждого вердикта. Разрешение указанного противоречия определяет актуальность настоящей работы и обуславливает выбор гибридного подхода, в котором вероятностная классификация дополняется детерминированными правилами и репутационной фильтрацией. Такое сочетание позволяет одновременно удерживать высокую полноту детекции, низкую долю ложных блокировок и полную прослеживаемость принимаемых решений.

Подготовка наборов данных для исследования

Для построения моделей машинного обучения, способных распознавать вредоносную активность, необходимы представительные размеченные наборы данных, отражающие как легитимный, так и вредоносный трафик. При этом трафик необходимо анализировать на двух уровнях – по содержимому запроса и по веб-адресу – для каждого уровня требуется собственный источник данных, соответствующий характеру решаемой задачи.

Уровень анализа содержимого запроса решает основную задачу – обнаружение инъекционных атак, нагрузка которых передается в составе HTTP-запроса и направлена на само приложение. Для его построения сформирован объединенный набор данных на основе двух источников реального трафика веб-приложений.

Первым источником послужил набор HTTP DATASET CSIC 2010 [4]. Набор содержит запросы к веб-приложению, разделенные на нормальные и аномальные, и применяется в исследованиях в качестве эталонного тестового набора для задач обнаружения атак на веб-приложения [5]. Из него использованы 36 000 нормальных запросов, образующих класс легитимного трафика, и аномальные запросы, используемые при решении задачи разделения нормального и вредоносного трафика.

Вторым источником послужил набор журналов межсетевого экрана уровня приложений OWASP ModSecurity, содержащий реальные вредоносные запросы, заблокированные за тридцатидневный период, с разметкой по категориям набора правил [6]. Из него извлечены запросы, размеченные по типам инъекционных атак: внедрение SQL-кода, межсайтовое выполнение сценариев, обход путей к файлам, удаленное выполнение команд и инъекции интерпретируемого кода.

Уровень анализа веб-адресов решает дополнительную задачу – контроль ссылок, которые приложение принимает на хранение и последующую выдачу пользователям. В качестве источника данных использован набор Malicious URLs Dataset, размещенный в открытом доступе на платформе Kaggle [7]. Набор объединяет веб-адреса из нескольких открытых источников и содержит 651 191 запись, размеченную по четырем классам: безопасные адреса (benign), адреса с подмененным содержимым (defacement), фишинговые адреса (phishing) и адреса, связанные с распространением вредоносного программного обеспечения (malware).

Модели машинного обучения работают не с исходным текстом запроса, а с числовым представлением – набором признаков, извлекаемых из него. Для каждого уровня анализа сформировано отдельное признаковое пространство, соответствующее характеру входных данных.

Для уровня анализа содержимого запроса сформировано пространство из 68 признаков. Извлечению признаков предшествовала нормализация значения каждой части запроса: двукратное URL-декодирование и обработка HTML-сущностей, приводящие замаскирован-

ную нагрузку к канонической форме, а также приведение источнико-зависимых элементов (адресов, имен узлов) к обобщенным обозначениям. Числовые признаки вычислялись по нормализованному значению, тогда как признаки, характеризующие сам факт применения кодирования, извлекались из исходного, ненормализованного значения. Признаки агрегировались по частям запроса операциями максимума и суммы. Дополнительно вычислись эвристические оценки, отражающие присутствие характерных для атак конструкций.

Для уровня анализа веб-адресов сформировано пространство из 41 признака, извлекаемого непосредственно из строки адреса. Признаки объединены в группы: лексические (длина адреса и его компонентов, число специальных символов, доля цифр), структурные (число поддоменов, наличие IP-адреса в составе хоста, число параметров запроса, расширение запрашиваемого файла) и статистические (энтропия строки адреса, отражающая степень ее упорядоченности). Извлечение признаков выполнялось детерминированной процедурой без обращения к внешним сервисам, что обеспечило скорость анализа в режиме реального времени.

Для построения и независимой оценки моделей каждый набор данных разделен на обучающую и тестовую выборки. Разделение выполнено в соотношении, при котором на тестовую выборку отведена пятая часть данных, с сохранением исходного распределения классов в обеих частях (стратификация).

Для набора веб-адресов обучающая выборка составила 520 952 записи, тестовая – 130 239 записей. Тестовая выборка использована для оценки отдельных моделей. Для набора содержимого запроса разделение выполнено аналогичным образом с сохранением распределения классов.

Построение и сравнительный анализ моделей машинного обучения

Для решения задач классификации применены ансамблевые методы машинного обучения, основанные на построении композиции решающих деревьев. Случайный лес строит множество деревьев на различных подвыборках данных и признаков и принимает решение усреднением их голосов, что снижает переобучение по сравнению с одиночным деревом [8]. Градиентный бустинг строит деревья последовательно, каждое из которых исправляет ошибки предыдущих. В работе использована реализация градиентного бустинга XGBoost, отличающаяся высокой скоростью обучения. Выбор ансамблевых методов обусловлен их эффективностью на табличных данных, устойчивостью к разнородным по масштабу признакам и наличием встроенной оценки значимости признаков [9].

Качество классификации в задачах информационной безопасности не может быть выражено единственным показателем точности, поскольку цена ошибок разных типов неодинакова: пропуск атаки и ложная блокировка легитимного трафика имеют различные последствия. Поэтому для оценки моделей применялся набор метрик [10]:

– полнота (recall) – доля обнаруженных атак среди всех атак заданного класса (характеризует способность модели не пропускать угрозы);

– точность (precision) – доля истинных атак среди всех заблокированных запросов;

– доля ложных срабатываний (false positive rate) – доля легитимных запросов, ошибочно отнесенных к атакам (является критическим показателем для модели, работающей в режиме блокировки);

– сводный показатель макро-усредненной F-меры (macro-F1) – объединяет точность и полноту с равным весом для всех классов (это особенно важно при дисбалансе классов).

Уровень анализа содержимого запроса решает основную задачу и включает две подзадачи: бинарное разделение запросов на содержащие и не содержащие вредоносную нагрузку, а также определение типа атаки. Построена модель определения типа инъекционной атаки среди пяти классов: внедрение SQL-кода, межсайтовое выполнение сценариев, обход путей к файлам, удаленное выполнение команд и инъекции интерпретируемого кода. Модель градиентного бустинга, обученная на данных журналов межсетевого экрана, достигла макро-усредненной F-меры 0,97.

Качество модели по отдельным классам приведено в табл. 1.

Таблица 1

Качество классификации типа атаки по классам (F-мера)

Класс атаки	Описание	F-мера
sqli	внедрение SQL-кода	0,99
lfi_path_traversal	обход путей к файлам	0,999
rce_cmdi	выполнение команд	0,98
php_injection	инъекции PHP-кода	0,98
xss	межсайтовый скриптинг	0,88

Показатель макро-усредненной F-меры 0,97 характеризует качество классификации в пределах распределения обучающих данных и используется для информативной разметки типа обнаруженной атаки, а не как самостоятельное решение о блокировке.

Распределение ошибок построенного классификатора по типам атак приведено на рис. 1.

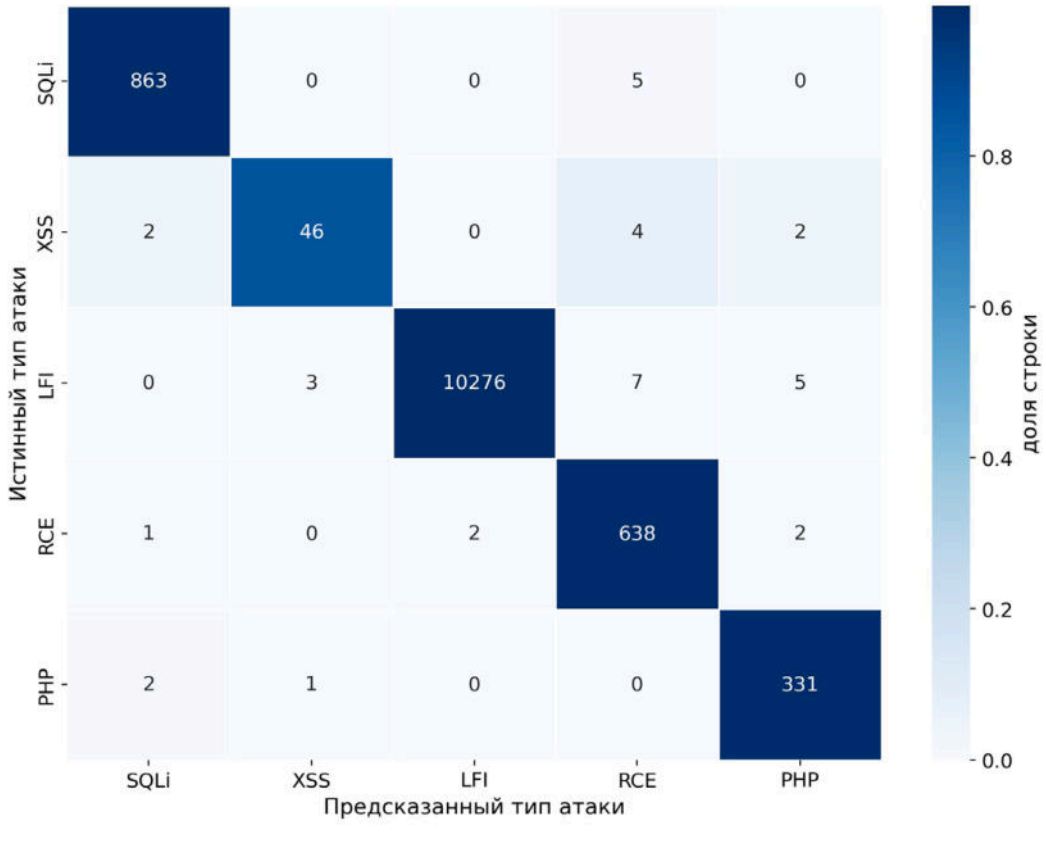


Рис. 1. Матрица ошибок классификатора типа атаки

Основная доля ошибок приходится на класс межсайтового выполнения сценариев, наименее представленный в данных.

Бинарное разделение запросов на содержащие и не содержащие вредоносную нагрузку возложено на механизм, объединяющий эвристические оценки присутствия характерных для атак конструкций. На запросах, несущих инъекционную нагрузку, достигнута полнота обнаружения 91,7% при нулевой доле ложных срабатываний на нормальном трафике.

Уровень анализа веб-адресов обеспечивает контроль передаваемых ссылок и решает задачу классификации адреса на четыре класса. Обучение проводилось на обучающей выборке из 520 952 записи, оценка – на тестовой выборке из 130 239 записей. Для выбора итоговой модели обучены четыре конфигурации: случайный лес и градиентный бустинг в базовой настройке и с компенсацией дисбаланса классов.

Результаты сравнения моделей классификации приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение конфигураций моделей уровня анализа веб-адресов

Конфигурация	Accuracy	Macro-F1	Recall phishing	FPR benign
Случайный лес (базовая настройка)	0,8364	0,7710	0,3884	0,0133
Случайный лес (компенсация дисбаланса)	0,8118	0,8067	0,8026	0,2056
XGBoost (базовая настройка)	0,8637	0,8274	0,5429	0,0407
XGBoost (компенсация дисбаланса)	0,8011	0,7986	0,8267	0,2319

Сопоставление конфигураций выявило принципиальный компромисс. Конфигурации с компенсацией дисбаланса классов достигают высокой полноты обнаружения фишинга (свыше 80%), однако ценой резкого роста доли ложных блокировок легитимного трафика: с четырех до двадцати и более процентов. Столь высокая доля ложных срабатываний неприемлема для модели, работающей в режиме блокировки, поскольку нарушала бы доступ к большому числу безопасных адресов.

По результатам сравнения в качестве итоговой выбрана конфигурация градиентного бустинга в базовой настройке. Она обеспечивает наилучшие долю корректных классификаций (86,37%) и макро-усредненную F-меру (0,8274) при умеренной доле ложных срабатываний классификатора (4,07%). Полнота обнаружения фишинга на уровне 54,29% недостаточна для самостоятельного применения модели в режиме блокировки, однако сознательный отказ от конфигураций с компенсацией дисбаланса обусловлен их неприемлемо высокой долей ложных блокировок. Ограничение по полноте преодолевается дополнением модели эвристическим и репутационным слоями, что повышает итоговую полноту обнаружения фишинга до 84,46% и одновременно снижает долю ложных блокировок до 0,97% за счет введения зоны отложенных решений.

Распределение ошибок итоговой модели по классам представлено матрицей ошибок на рис. 2.

Анализ матрицы показывает, что основная доля пропусков приходится на ошибочное отнесение фишинговых и подмененных адресов к безопасному классу (8139 и 4871 запроса соответственно), что согласуется с близостью распределений длины адреса этих классов и объясняет умеренную полноту обнаружения фишинга отдельной моделью.

Встроенная в градиентный бустинг оценка значимости признаков позволяет определить, какие из них вносят наибольший вклад в классификацию. Наибольший вклад вносит признак наличия IP-адреса в составе хоста и признак подозрительного расширения запрашиваемого файла, на которые в совокупности приходится более половины суммарной значимости. За ними следуют признаки фишинговых эвристик (большое число параметров запроса, присутствие числовых последовательностей) и структурные признаки пути. Преобладание содержательных признаков над простыми счетчиками символов подтверждает обоснованность сформированного признакового пространства.

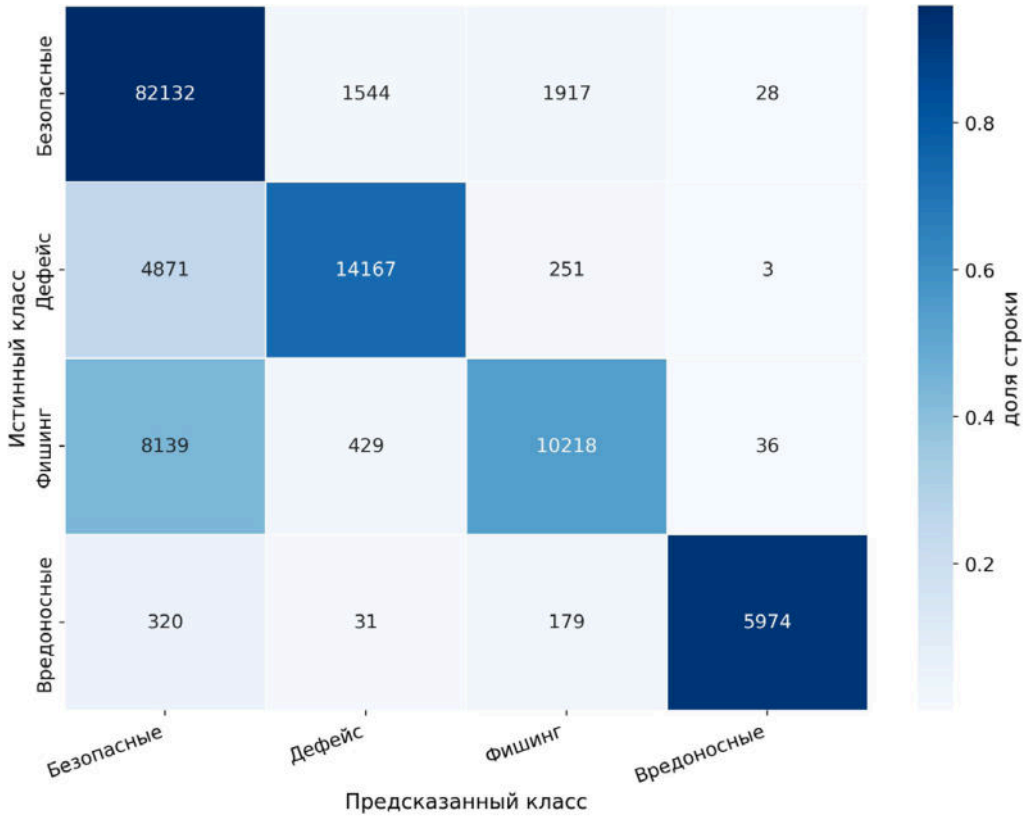


Рис. 2. Матрица ошибок итоговой модели уровня анализа веб-адресов

Заключение

В ходе исследования решены все поставленные задачи и получены следующие результаты:

1) проведен анализ предметной области детекции атак на веб-приложения, в результате которого угрозы классифицированы по двум уровням – атаки на само приложение через содержимое запроса и атаки, использующие приложение как канал воздействия на его пользователей;

2) подготовлены наборы данных и сформированы признаковые пространства для двух уровней анализа (для уровня анализа веб-адресов использован набор объемом 651 191 запись четырех классов с пространством из 41 признака; для уровня анализа содержимого запроса сформирован объединенный набор объемом 98 598 записей на основе наборов CSIC 2010 и журналов OWASP ModSecurity с пространством из 68 признаков);

3) построены и сопоставлены модели машинного обучения (для уровня анализа веб-адресов из четырех конфигураций ансамблевых моделей выбрана итоговая модель градиентного бустинга с показателем макро-усредненной F-меры 0,929; для уровня анализа содержимого построена модель определения типа атаки с макро-усредненной F-мерой 0,97).

Разработанные модели могут быть использованы в качестве первого рубежа защиты произвольного веб-приложения. Дальнейшее развитие работы предполагает расширение перечня анализируемых типов атак и добавление дополнительного уровня анализа неоднозначных случаев на основе большой языковой модели для повышения точности классификации.

Список литературы

1. Dagdandorj, A. Efficient Planning and Selection of Media Advertising Using Linier Programming and Machine Learning Methods / A. Dagdandorj, B. Namsrai // Theoretical and Practical Issues of Journalism. – 2022. – Vol. 11, № 1. – P. 144-157.

2. Катасёва, Д. В. Нейронечеткая модель оценки вредоносности сетевого трафика в Android-приложениях / Д. В. Катасёва, Д. Д. Лосева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 1. – С. 77-80.

3. Евсеева, А. О. Идентификация ботов в социальных сетях на основе нейросетевой модели / А. О. Евсеева, А. С. Катасёв, Д. В. Катасёва // Информация и безопасность. – 2016. – Т. 19, № 4. – С. 535-538.

4. HTTP DATASET CSIC 2010 [electronic resource] / Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Information Security Institute. – 2010. – URL: https://www.isi.csic.es/dataset/ (date of access: 15.08.2026).

5. Tadhani, Ja. R. Securing web applications against XSS and SQLi attacks using a novel deep learning approach / Ja. R. Tadhani, V. Vekariya, V. Sorathiya // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14, № 1. – P. 1803.

6. A Thirty-Day Dataset of Malicious HTTP Requests Blocked by OWASP ModSecurity Core Rule Set [electronic resource]. – Zenodo, 2025. – URL: https://zenodo.org/records/17178461 (date of access: 15.08.2026).

7. Munir, A. Malicious URLs dataset [electronic resource]. – Kaggle, 2020. – URL: https://www.kaggle.com/datasets/sid321axn/malicious-urls-dataset (date of access: 15.08.2026).

8. Breiman, L. Random Forests / L. Breiman // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, No. 1. – P. 5-32.

9. Ахметвалеев, А. М. Модель коллектива нейронных сетей и программный комплекс для определения функционального состояния человека / А. М. Ахметвалеев, А. С. Катасёв, М. А. Подольская // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1 (41). – С. 69-85.

10. Минниханов, Р. Н. Цифровой двойник парковочного пространства / Р. Н. Минниханов, Т. Р. Баторшин, Р. М. Габбазов, Р. И. Фахразиев, А. С. Катасёв, М. В. Дагаева, И. Р. Бадрутдинов // Электронные библиотеки. – 2025. – Т. 28. № 4. – С. 884-902.

УДК 004.415.2

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Катасёва Д.В., к.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-6141-8329;
Черкасов Е.О., бакалавр кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-2742-9824

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR INFORMATION SECURITY AUDIT

Kataseva D.V., PhD, Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-6141-8329;
Cherkasov E.O., Student of Information Security Systems Department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-2742-9824

Аннотация

Статья посвящена описанию задачи разработки веб-приложения для автоматизации проведения аудита информационной безопасности. Актуальность задачи обусловлена необхо-

димостью оптимизации ручных процессов проверок, централизованного хранения результатов и снижения затрат на внедрение SGRC-решений. Проведен анализ существующих решений для проведения аудита информационной безопасности. Спроектирована клиент-серверная архитектура веб-приложения с многослойной структурой. При проектировании использован стек технологий, включающий в себя язык программирования Python, веб-фреймворк Flask, ORM-прослойку SQLAlchemy, файловую базу данных SQLite и клиентскую часть, состоящую из гипертекстовой разметки HTML и стилевого оформления CSS. В разработанном веб-приложении реализован следующий функционал: создание чек-листов, проведение аудита информационной безопасности в организации, формирование отчетной документации, подача апелляций, формирование новостной ленты и календаря проверок. Предложенное решение обеспечивает разделение пользовательских ролей, централизованное хранение данных и удобство взаимодействия участников проведения аудита. Разработанное веб-приложение позволяет автоматизировать и оптимизировать процессы проведения аудита информационной безопасности для небольших компаний и организаций.

Ключевые слова: аудит информационной безопасности, веб-приложение, информационная безопасность, SGRC-система, автоматизация отчетности, кибербезопасность

Abstract

This article describes the development of a web application for automating information security audits. The need to optimize manual audit processes, centralize the storage of results, and reduce the cost of implementing SGRC solutions necessitates this task. An analysis of existing information security audit solutions is conducted. A client-server architecture of the web application with a multilayer structure is designed. The design utilized a technology stack including the Python programming language, the Flask web framework, the SQLAlchemy ORM layer, the SQLite file database, and a client component consisting of HTML hypertext markup and CSS stylesheets. The developed web application implements the following functionality: creating checklists, conducting an information security audit within an organization, generating reporting documentation, filing appeals, and creating a news feed and audit calendar. The proposed solution ensures the separation of user roles, centralized data storage, and convenient interaction between audit participants. The developed web application allows for the automation and optimization of information security audit processes for small companies and organizations.

Keywords: information security audit, web application, information security, SGRC system, reporting automation, cybersecurity

Введение

В условиях цифровизации и роста киберугроз обеспечение информационной безопасности (ИБ) в организациях приобретает особую значимость [1]. Банковские организации, государственные учреждения и коммерческие компании обрабатывают большие объемы конфиденциальной информации, нарушение защиты которой может повлечь финансовые потери, утечку данных, сбои бизнес-процессов и репутационный ущерб.

Процесс проведения аудита ИБ обычно сопровождается объемной ручной работой [2]. Проверки выполняются с использованием бумажных чек-листов, электронных таблиц и почтовой переписки. Такой процесс затрудняет централизованное хранение информации о результатах проверок.

В настоящее время на рынке представлены корпоративные SGRC-решения [3], предназначенные для автоматизации аудита, compliance-контроля и управления рисками. Однако такие решения ориентированы на крупный корпоративный сегмент бизнеса из-за стоимости внедрения и сопровождения. Для небольших или узконаправленных организаций возникает потребность в недорогом специализированном инструменте проведения аудита ИБ. В связи

с этим актуальной задачей является разработка веб-приложения, которое позволит оптимизировать процесс проведения аудита и централизованно хранить результаты проверок.

Проектирование архитектуры и выбор технологий для разработки веб-приложения

Для разрабатываемого веб-приложения целесообразно использовать клиент-серверную архитектуру. В такой модели пользователь взаимодействует с системой через веб-браузер, отправляя запросы на сервер. Серверная часть обрабатывает запросы, выполняет бизнес-логику, обращается к базе данных и возвращает пользователю результат в виде веб-страниц, отчетов или структурированных данных. Преимуществом клиент-серверного подхода является централизованное хранение информации и возможность удаленного доступа к системе без установки дополнительного программного обеспечения.

С точки зрения внутренней организации рационально использовать многослойную архитектуру. Такой подход предусматривает разделение системы на несколько логических уровней, каждый из которых выполняет собственные функции. Это упрощает сопровождение проекта, снижает связанность компонентов и облегчает последующее развитие системы.

В приложении реализованы следующие уровни:

– первый уровень, представляющий собой пользовательский интерфейс (веб-приложения, формы ввода данных, таблицы, элементы навигации, панели управления и графические компоненты визуализации результатов аудита);

– второй уровень – прикладная логика системы (авторизация пользователей, управление ролями, создание чек-листов, проведение проверок, расчет итоговых оценок, формирование отчетности и обработка апелляций);

– третий уровень – слой доступа к данным, отвечающий за сохранение информации, выполнение запросов к базе данных и передачу данных в прикладной уровень для дальнейшей обработки.

Выбранная многослойная архитектура позволяет разрабатывать отдельные части веб-приложения. Например, изменение его интерфейса не требует полной переработки механизма расчета оценок, а замена базы данных возможна без изменения пользовательской части приложения.

Для реализации серверной части выбран язык программирования Python. В качестве основного веб-фреймворка использовано средство разработки веб-приложений Flask, предоставляющее механизмы маршрутизации запросов, обработки HTTP-соединений, интеграции шаблонов страниц. Пользовательский интерфейс приложения реализован с помощью инструментов HTML и CSS. HTML определяет структуру страниц (формы, таблицы, элементы управления). CSS использован для визуального оформления и адаптации страниц. Для хранения данных на этапе разработки и тестирования выбрана система управления базами данных SQLite [4]. База данных хранится в виде файла, что упрощает перенос проекта, резервное копирование и настройку системы. Для взаимодействия приложения с базой данных использована библиотека SQLAlchemy. Она реализует ORM-подход, позволяющий работать с таблицами базы данных через объекты Python. На основе этого набора инструментов в приложении реализованы модели пользователей, организаций, чек-листов, результатов аудита, отчетов, обращений и новостных публикаций. Управление пользовательскими сессиями и механизмами входа обеспечивалось расширением Flask-Login [5]. Оно помогло настроить авторизацию пользователей, контроль активных сессий и ограничение доступа к закрытым разделам приложения. Обработка HTML-форм и защита от CSRF-атак реализованы через расширение Flask-WTF [6]. Управление изменениями структуры базы данных осуществлено через модуль Flask-Migrate, который применяет изменения без потерь сохраненной информации. Средой разработки выбрана PyCharm [7].

С точки зрения ИБ выбранные инструменты позволили реализовать полный набор защитных принципов [8-10]: хеширование паролей, ограничение прав доступа, фильтрацию

пользовательского ввода, защиту от типовых веб-угроз и журналирование действий. Стоит отметить и еще одно достоинство – заложенный потенциал масштабирования. При росте числа пользователей приложение может быть перенесено на более производительную базу данных и промышленный веб-сервер без изменения основной логики его работы.

Описание разработанного веб-приложения

Ключевой функцией разработанного веб-приложения является проведение аудита ИБ. Аудитор создает и редактирует чек-листы, назначает проверки организациям и фиксирует результаты аудита. Пример структуры чек-листа показана на рис. 1.

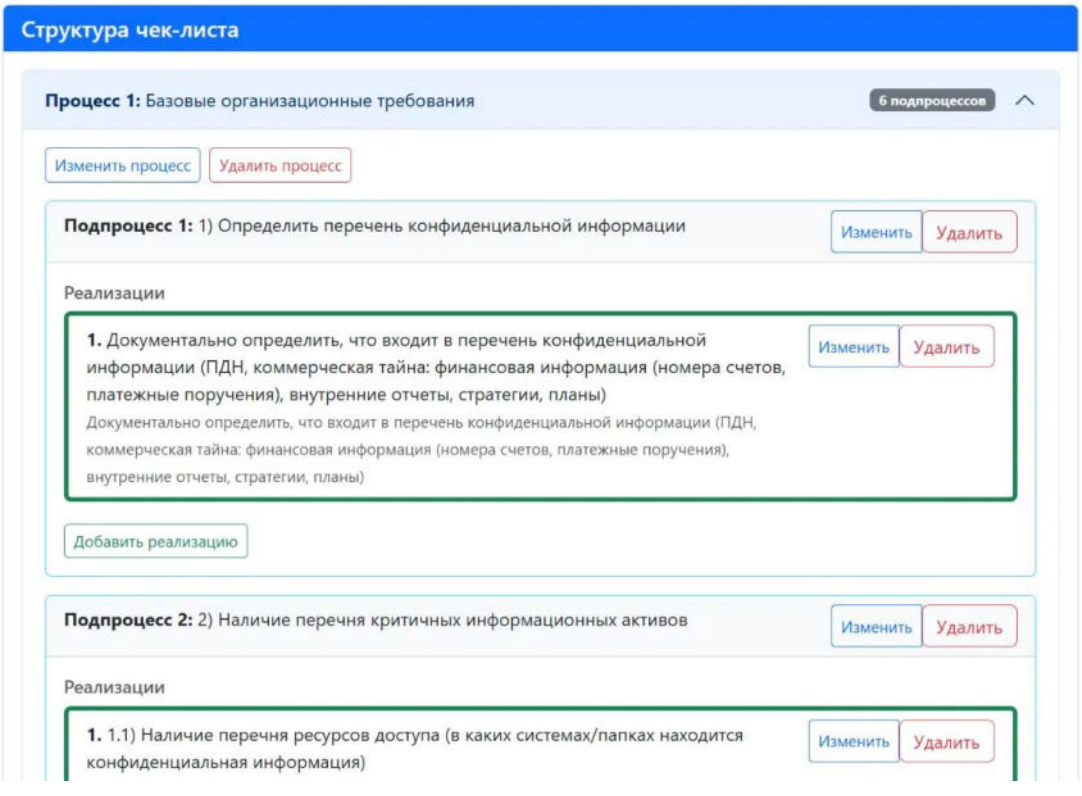


Рис. 1. Пример структуры чек-листа

Процесс проведения проверки реализован в интерактивном формате. Аудитор последовательно заполняет оценки по каждому подпроцессу и добавляет комментарии. Сохранение результатов выполняется асинхронно без перезагрузки страницы. Это повышает удобство работы и сокращает время проведения аудита. После завершения проверки формируется итоговая оценка состояния ИБ по результатам аудита (рис. 2).

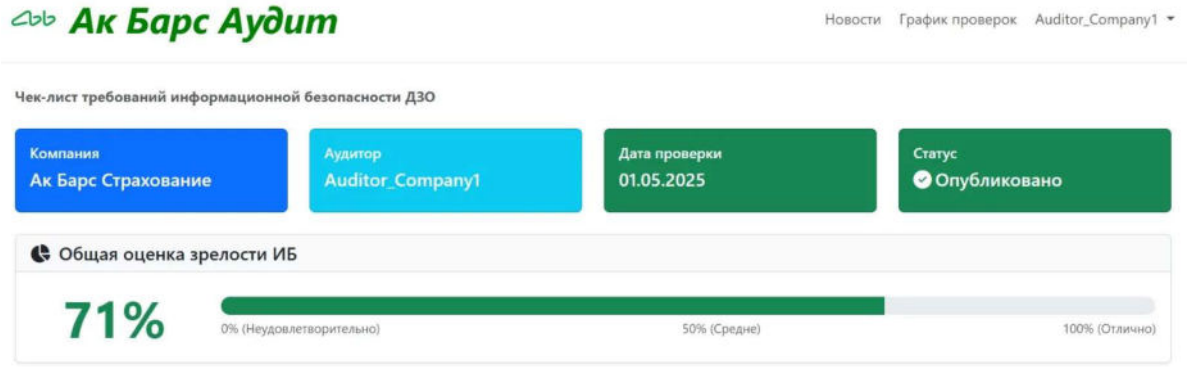


Рис. 2. Пример формирования итоговой оценки

После публикации отчета у представителя организации есть возможность направить апелляцию по спорным пунктам проверки. Новостной модуль веб-приложения информирует о предстоящих проверках, изменениях требований и обновлениях системы.

Следует отметить, что разработанное решение ориентировано на организации, которым требуется система оптимизации ИБ без внедрения SGRC-платформ. Используемая архитектура позволяет масштабировать и расширять функциональность системы.

Заключение

Ручное проведение аудита на соответствие требованиям ИБ имеет недостатки: трудоемкость, риск потери данных, отсутствие централизованного хранения результатов. Веб-приложение позволяет автоматизировать процесс проведения аудита за счет создания и редактирования чек-листов, проведения проверок, расчета итоговой оценки, формирования отчетности, визуализации результатов и обработки апелляций. При этом его разработка, внедрение и сопровождение экономически оправданы, поскольку не требуют значительных финансовых затрат. В перспективе для развития системы целесообразна реализация механизма контроля устранения, риск-ориентированного подхода, ИИ-агента для составления отчета, механизма самооценки для организации.

Список литературы

1. Исхаков, И. И. Выявление ложноположительных инцидентов кибербезопасности на основе искусственных нейронных сетей / И. И. Исхаков, А. З. Махмутова, И. В. Аникин // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 8(116). – С. 710-718.

2. Аникин, И. В. Метод аудита пользовательских паролей на базе архитектуры нейронной сети LSTM / И. В. Аникин, Р. Р. Хаеров // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2023. – Т. 3, № 2. – С. 99-109.

3. Виноградов, А. Ю. Комплаенс как основа защиты информации в системе управления предприятием / А. Ю. Виноградов, Н. В. Казанцев // Перспективные технологии для систем безопасности. – 2025. – № 1 (7). – С. 132-141.

4. Abogaa, J. B. e-recognition of Motorbike License Plate using Python and SQLite / J. B. Abogaa // Indian Journal of Science and Technology. – 2022. – Vol. 15, No. 48. – P. 2757-2764.

5. Kumar, S. Coverless Information Hiding: A Web Text-Based Covert Communication System with Multi-Feature Encoding and Layered Security / S. Kumar, G. Nagireddy, B. Revanth // International Journal of Engineering Research and Science & Technology. – 2026. – Vol. 22, № 2. – P. 128-135.

6. Ogunsanwo, Ye. Thermal properties of wooden based flask from tropical hardwood species / Ye. Ogunsanwo, I. Onakpoma, M. Korede // Asian Journal of Forestry. – 2020. – Vol. 4, № 2.

7. Wei, W. Construction and Application of Innovation and Entrepreneurship Sharing Platform Based on Attention-Mechanism Graph Convolutional Network / W. Wei // Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics. – 2025. – Vol. 29, № 5. – P. 1162-1171.

8. Дагаева, М. В. Обнаружение программ-ботов в социальных сетях на основе методов интеллектуального анализа данных / М. В. Дагаева, Д. В. Катасёва, А. С. Катасёв // Информация и безопасность. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 540-545.

9. Катасёва, Д. В. Фильтрация нежелательных почтовых сообщений на основе нейросетевой и нейронечеткой моделей / Д. В. Катасёва, А. С. Катасёв // Информация и безопасность. – 2016. – Т. 19, № 4. – С. 551-554.

10. Wu, Ye. Developing a Taxonomic Framework of Security Methods for Security Management and Information Resource Management / Ye. Wu // Journal of Strategic Security. – 2020. – Vol. 13, No. 2. – P. 64-77.

УДК 343.988

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ХИЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПЛАТЕЖА: ПРОБЛЕМЫ ПРАВОПРИМЕНЕНИЯ И ПУТИ РЕФОРМИРОВАНИЯ

Кафарова Р.Д., советник юстиции, старший преподаватель кафедры основ управления, организации и цифровизации прокурорской деятельности Казанского юридического института (филиала) Университета прокуратуры Российской Федерации, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-7371-3060;
E-mail: reginaprok080@gmail.com

DIFFERENTIATION OF LIABILITY FOR THEFT USING ELECTRONIC MEANS OF PAYMENT: PROBLEMS OF LAW ENFORCEMENT AND WAYS OF REFORM

Kafarova R.D., Counselor of Justice, Senior Lecturer, Department of Fundamentals of Management, Organization and Digitalization of Prosecutorial Activities Kazan Law Institute (branch) of the University of the Prosecutor's Office of the Russian Federation, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-7371-3060;
E-mail: reginaprok080@gmail.com

Аннотация

Стремительная цифровизация финансовых отношений и повсеместное распространение безналичных расчетов объективно актуализируют проблему уголовно-правовой охраны имущественных прав граждан в виртуальном пространстве. Ежегодно правоохранительные структуры регистрируют десятки тысяч преступлений, связанных с несанкционированным применением банковских карт и иных электронных средств платежа (далее – ЭСП). Однако сложившаяся система квалификации подобных деяний демонстрирует признаки системного кризиса. Статья посвящена исследованию данного кризиса в рамках дифференциации уголовной ответственности за хищения, совершаемые посредством применения ЭСП.

Цель настоящего исследования заключается в обнаружении системных аномалий, порожденных деформацией судебно-следственной практики после прецедента по делу Ю.Ю. Кактана, а также в формулировке предложений по восстановлению баланса социальной справедливости в области уголовно-правовой охраны имущества от посягательств, совершаемых с применением ЭСП. Методологическую основу исследования составляют формально-юридический, системно-структурный и сравнительно-правовой методы, а также анализ судебной статистики и правовых позиций Верховного Суда РФ.

На базе анализа и оценки правовых позиций Верховного Суда РФ по делу Ю.Ю. Кактана, а также доктринальных подходов, удалось осмыслить современную практику применения ст. 159.3 УК РФ. Автор отмечает, что имеет место быть системная ошибка со стороны правоприменителя, и заключается она во вменении особого состава мошенничества в ситуациях, когда ЭСП считается лишь техническим средством и инструментом распоряжения или перевода ранее похищенных активов, и при этом не выступает в качестве самостоятельного способа информационного обмана.

В рамках работы удалось обнаружить дисбаланс уголовно-правовой репрессии. Если говорить точнее, речь идет об избыточной квалификации мелких бытовых корыстных посягательств ситуативных правонарушителей в соответствии с категорией тяжких преступлений по п. «г» ч. 3 ст. 158 УК РФ. При этом на практике данный аспект сочетается с нормативной пассивностью ст. 159.3 УК РФ относительно высокотехнологичных групповых посягательств, что позволяет сделать вывод о формировании трех системных аномалий правоприменения.

В статье произведен полноценный анализ практики вынужденного использования со стороны судебных структур дискреционных полномочий по ч. 6 ст. 15 УК РФ в качестве системы ручной компенсации диспропорций законодательства. Также обоснована важность и значимость концептуального реформирования диспозиции по ст. 159.3 УК РФ через смещение акцента непосредственно на противодействие цифровым средствам и методам деформации воли потерпевшего в рамках фишинга и социальной инженерии.

Предложено исключить оплату найденной карты из сферы действия п. «г» ч. 3 ст. 158 УК РФ, отнеся такие деяния к модернизированному составу ст. 159.3 УК РФ, а также усилить ответственность за организованные формы кибермошенничества путем введения квалифицирующих признаков.

Все это способствует восстановлению баланса социальной справедливости и повышению превентивного потенциала уголовного закона. Сформулированные выводы могут быть использованы в законотворческой деятельности и правоприменительной практике.

Ключевые слова: электронные средства платежа, ст. 159.3 УК РФ, кража с банковского счета, дифференциация уголовной ответственности, судебно-следственная практика, криминологический дисбаланс, категория преступления, цифровой обман, социальная инженерия, реформирование уголовного законодательства

Abstract

The rapid digitalization of financial relations and the widespread use of non-cash payments objectively actualize the problem of criminal law protection of citizens' property rights in the virtual space. Every year, law enforcement agencies register tens of thousands of crimes related to the unauthorized use of bank cards and other electronic means of payment (hereinafter – EMP). However, the current system of qualification of such acts demonstrates signs of a systemic crisis. The article is devoted to the study of this crisis in the context of differentiation of criminal liability for theft committed through the use of EMP.

The purpose of this study is to identify systemic anomalies caused by the deformation of judicial and investigative practice after the precedent in the case of Yu.Yu. Kaktan, as well as to formulate proposals for restoring the balance of social justice in the field of criminal law protection of property from encroachments committed using EMP. The methodological basis of the research includes formal-legal, systemic-structural and comparative-legal methods, as well as the analysis of judicial statistics and legal positions of the Supreme Court of the Russian Federation.

Based on the analysis and assessment of the legal positions of the Supreme Court of the Russian Federation in the case of Yu.Yu. Kaktan, as well as doctrinal approaches, it was possible to comprehend the current practice of applying Article 159.3 of the Criminal Code of the Russian Federation. The author notes that there is a systemic error on the part of the law enforcer, which consists in imputing a special composition of fraud in situations where EMP is considered only as a technical means and instrument of disposal or transfer of previously stolen assets, and does not act as an independent method of information deception.

Within the framework of the work, it was possible to identify an imbalance of criminal law repression. More precisely, we are talking about the excessive qualification of petty household mercenary encroachments of situational offenders in accordance with the category of serious crimes under paragraph "g" of Part 3 of Article 158 of the Criminal Code of the Russian Federation. At the same time, in practice, this aspect is combined with the normative passivity of Article 159.3 of the Criminal Code of the Russian Federation in relation to high-tech group encroachments, which allows us to conclude that there are three systemic anomalies of law enforcement.

The article provides a full analysis of the practice of forced use by judicial structures of discretionary powers under Part 6 of Article 15 of the Criminal Code of the Russian Federation as a system of manual compensation for legislative disproportions. The importance and significance of conceptual reform of the disposition of Article 159.3 of the Criminal Code of the Russian Federation

through shifting the focus directly to countering digital means and methods of deformation of the victim's will in the framework of phishing and social engineering is also substantiated. It is proposed to exclude payment with a found card from the scope of paragraph "g" of Part 3 of Article 158 of the Criminal Code of the Russian Federation, attributing such acts to a modernized composition of Article 159.3 of the Criminal Code of the Russian Federation, as well as to strengthen liability for organized forms of cyber fraud by introducing qualifying features.

All this contributes to the restoration of the balance of social justice and increasing the preventive potential of criminal law. The formulated conclusions can be used in law-making activities and law enforcement practice.

Keywords: electronic means of payment; Article 159.3 of the Criminal Code of the Russian Federation; theft from a bank account; differentiation of criminal liability; judicial and investigative practice; criminological imbalance; crime category; digital deception; social engineering; reform of criminal legislation

На территории Российской Федерации финансовые отношения подверглись стремительной цифровизации, что также сопровождается ростом безналичных расчетов и распространением электронных платежных средств. Все это объективно актуализирует проблему, посвященную уголовно-правовой охране имущественных прав граждан в рамках виртуального пространства. Каждый год правоохранительные структуры регистрируют десятки тысяч преступлений, которые связаны в основном с несанкционированным применением банковских карт и прочих ЭСП.

Тем не менее, как показывает сложившаяся практика, система квалификации подобных деяний зашла в концептуальный тупик и породила собой возникновение парадоксальной ситуации. Говоря простыми словами, норма о мошенничестве с применением ЭСП, по ст. 159.3 УК РФ, оказалась практически парализованной, в свою очередь, бытовые корыстные посягательства, которые совершаются ситуативными правонарушителями, как правило, избыточно криминализируются по тяжкому составу кражи со счета в банке, что происходит необоснованно [1].

Постановка проблемы, выносимой на научное обсуждение, обусловлена необходимостью осмысления правовых позиций, сформулированных Судебной коллегией по уголовным делам Верховного Суда РФ в определении № 12-УД20-6 по делу Ю.Ю. Кактана. Рассматриваемый прецедент, по версии большинства исследователей, привнес многочисленные изменения в сложившийся подход в рамках разграничения ст. 159.3 и п. «г» ч. 3 ст. 158 УК РФ.

В существующей доктрине уголовного права принято высказывать те или иные мнения по поводу уровня и степени обоснованности данных предложений Верховным Судом квалификации. Тем не менее, дискуссия нередко сводится именно к формально-догматическим аргументам и оставляет без необходимого внимания последствия в криминологическом и социальном плане в рамках деформации правоприменительной практики.

Цель данной статьи заключается в обнаружении системных аномалий, связанных с данным прецедентом, а также в формулировке предложений в плане восстановления баланса социальной справедливости в области уголовно-правовой охраны имущества от посягательств, которые совершаются с применением ЭСП.

Обстоятельства по делу Ю.Ю. Кактана, которое стало катализатором в плане трансформации судебной практики, считаются в рамках современного правоприменения достаточно типичными. 13 мая 2019 года Ю.Ю. Кактан нашел банковскую карту, далее он использовал функцию бесконтактной оплаты, чтобы приобрести по ней товары в различных магазинах, общая сумма покупок составила 3026 рублей 54 копейки. Подсудимый не смог довести свои действия до конца по той причине, что владелец заблокировал карты [2].

Шестой кассационный суд общей юрисдикции изменил квалификацию действий Ю.Ю. Кактана с ч. 3 ст. 30 п. «г» ч. 3 ст. 158 УК РФ на ч. 3 ст. 30 ч. 1 ст. 159.3 УК РФ. Судом

была истолкована суть «карточного мошенничества» именно в его классическом понимании, поскольку обвиняемый использовал карту в качестве средства оплаты товаров в магазинах, и его действия предполагали обнаружение признаков обмана работников организаций, которые считали, что он распоряжался средствами, лежавшими на карте, на законных основаниях.

Верховный Суд Российской Федерации с таким решением не согласился, им была сформулирована иная правовая позиция. Принимая во внимание определение Судебной коллегии, для мошенничества с применением электронных средств платежа обязательным считается способ совершения преступления, то есть изъятие денежных средств должно быть осуществлено через обман или злоупотребление доверием владельца. В рамках дела Ю.Ю. Кактана виновный производил оплату в присутствии работников торговли, которые не принимали участия в осуществлении транзакций. По этой причине он никого не вводил в заблуждение, а хищение совершил тайно, а не путем обмана.

Говоря о доктринальной реакции на рассматриваемое решение, можно отметить, что она оказалась неоднозначной. Профессор И.А. Клепицкий не согласился с имеющейся квалификацией и ссылался на то, что безналичные денежные средства не могут стать предметом кражи [3]. Вместе с тем профессор С.В. Скляров поддержал позицию Верховного Суда РФ и полагал, что решение является обоснованным, поскольку при бесконтактной оплате чужой картой отсутствует обман уполномоченного работника, а значит, содеянное образует состав кражи [4].

Анализ судебной практики и мнений теоретиков, проведённый Е.А. Русскевичем и К.Б. Черновой, показывает, что решение по делу Кактана, хотя и признаётся ими формально обоснованным, создаёт предпосылки для системной проблемы. Как отмечают авторы, в доктрине высказываются суждения о том, что ст. 159.3 УК РФ может пополнить перечень «мёртвых» норм, фактически утратив прикладное значение» [5].

До момента принятия со стороны Верховного Суда данного решения в рамках судебно-следственной практики хищение безналичных денежных средств с использованием электронных средств платежа характеризовалось неоднозначной оценкой. Судебно-следственные структуры демонстрировали приверженность конкретной позиции. Суть ее состояла в том, что если лицо, завладев ЭСП, приобрело товары в магазине, содеянное важно квалифицировать в рамках ст. 159.3 УК РФ.

Тем не менее, после прецедента Кактана правоприменитель оказался в ситуации неопределенности. Говоря простыми словами, квалификация по ст. 159.3 УК РФ предполагает важность установления факта обмана владельца средств или уполномоченного лица, что в реалиях бесконтактных платежей без участия человека доказать практически невозможно. В качестве следствия выступает массовое применение п. «г» ч. 3 ст. 158 УК РФ в виде «резервной» нормы, которая помогает не оставлять деяния без оценки уголовно-правового формата. В качестве платы за такую правовую определенность выступает избыточная репрессия относительно лиц, у которых общественная опасность деяний не соответствует категории тяжкого преступления.

Сформировавшаяся правоприменительная практика порождает 3 системных аномалии, которые имеют не просто юридическое измерение, но и социально-криминологическое.

Первая из них имеет прямую и непосредственную связь с искусственной криминализацией относительно бытового поведения, а также с формированием искаженного социально-демографического портрета осужденных. Квалификация оплаты найденной карты по п. «г» ч. 3 ст. 158 УК РФ предполагает отнесение действия к группе тяжких преступлений с максимальным наказанием до 6 лет лишения свободы. К субъектам таких посягательств относятся в основном ситуативные правонарушители в виде лиц, совершающих импульсивные покупки на незначительные суммы, с использованием найденных карт.

Говоря о социально-демографическом портрете осужденных по идентичным составам, они характеризуются преобладанием лиц, которые не располагают постоянными источника-

ми дохода, рабочих, женщин. По факту орбита уголовного преследования включает в себя социально уязвимые категории граждан, действия которых не представляют общественной опасности в степени, характерной для тяжких преступлений против собственности. При всем этом правовая конструкция в рамках ч. 6 ст. 15 УК РФ, которая позволяет судам снижать категорию преступления, является вынужденным механизмом «ручной компенсации» диспропорций законодательства.

Вторая аномалия состоит в наступлении криминологического дисбаланса и в том, что статус ст. 159.3 УК РФ является «мертвым». Данные статистического характера в рамках Судебного департамента при Верховном суде РФ указывают на существование определенной динамики в данном направлении. Так, в отрезок времени с 2019 по 2022 год по ст. 159.3 УК РФ осуждены 5295 человек, при этом количество назначенных наказаний в виде лишения свободы снизилось с 364 в 2019 году до 24 в 2022 году.

Такая статистика выступает в качестве подтверждения гипотезы о «свертывании» сложившейся практики задействования данной нормы. Вместе с тем преступные действия со стороны кибермошенников как организаторов фишинговых платформ, операторов социальной инженерии, формально подпадают под действие ст. 159.3 УК РФ, которая относится к группе преступных действий небольшой или средней тяжести.

Конкретно в данной ситуации возникает парадокс, и заключается он в том, что случайная находка карты карается более строго в сравнении с умышленным интеллектуальным скамом, который причиняет потерпевшим ущерб на несколько миллионов. Низкий уровень общественной опасности санкций, согласно ст. 159.3 УК РФ, не может быть сопоставим с реальным масштабом вреда, который причиняется со стороны организованных фишинговых платформ, что размывает превентивную функцию в рамках уголовно-правовой нормы.

Третья по счету аномалия предполагает деформацию уголовной статистики и искажение превентивных приоритетов правоохранительных структур. Поскольку оплата при помощи найденной карты традиционно квалифицируется по принципу кражи с банковского счета, правоохранительные структуры обязаны возбуждать уголовные дела в рамках категории преступлений высокой тяжести. Все это порождает фиктивный всплеск статистики общего уровня тяжкой преступности.

Представляется, что структуры предварительного следствия в большей степени ориентированы на раскрытие очевидных бытовых хищений (в том числе фиксируемых камерами видеонаблюдения в магазинах), тогда как интеллектуальное организованное мошенничество с использованием электронных средств платежа не получает должного превентивного внимания и оперативного мониторинга.

Разрешение подобных аномалий на практике нуждается в переосознании юридической природы деяний, совершаемых при помощи электронных средств платежа, с точки зрения современной теории уголовного права. Как отмечает Л.А. Петрякова, в настоящее время отсутствует конкретика в понимании и применении ст. 159.3 УК РФ, что требует дополнительных разъяснений Пленума Верховного Суда РФ [6]. В реалиях, когда наблюдается массовая и масштабная цифровизация безналичных расчетов, стандартный признак мошенничества, то есть обман, претерпевает сущностную трансформацию. В рамках современной цифровой экономики банковская карта является не просто пластиком, а выступает в роли ключа цифровой аутентификации.

Итак, когда лицо прикладывает чужую карту к терминалу, оно совершает определенное конклюдентное действие, которое влечет за собой несение ложной информации. Если говорить проще, лицо виртуально сообщает банку о том, что законно владеет счетом. Банковский сервер в виде антифрод-системы и процессинга считывает данный ложный сигнал, и в плане правомочности плательщика происходит введение в заблуждение, образуется команда по списанию средств. Вместе с тем наблюдается автоматизированный информационный обман,

средства действительно уходят со счета, и триггером является именно ввод данных путем обмана, а не тайное изъятие.

В отечественном уголовном праве уже есть норма, в которой средства похищаются с банковского счета, но здесь речь идет о мошенничестве, а не о краже, по ст. 159.6 УК РФ. В данном случае преступник меняет данные или вводит ложную информацию в сеть, алгоритм осуществляет перевод средств со счета, и закон воспринимает данное действие, как мошеннический обман компьютерной системы. Такое переформатирование ст. 159.3 УК РФ основывается на той же логике, ведь прикладывание чужой карты представляет собой частный случай обмана автоматизированной системы платежей.

Говоря о международном опыте, он также свидетельствует в пользу данного подхода. В законодательстве Германии ответственность за несанкционированное использование платежных средств предусмотрена § 263a Уголовного кодекса ФРГ (StGB) «Компьютерное мошенничество» (Computerbetrug). Согласно данной норме, уголовно наказуемым признается воздействие на результат обработки данных путем использования недостоверных или неполных данных, а также несанкционированное использование данных, совершенное с целью незаконного обогащения [7]. Уголовный кодекс Франции в рамках ст. 313-1 предполагает ответственность за мошенничество, совершенное через использование информационной системы, что охватывает случаи несанкционированной авторизации операций [8]. В Уголовном кодексе Китая имеется особый состав «мошенничества с использованием кредитных карт» (ст. 196), где речь ведется об использовании поддельных или чужих кредитных карт, при этом в качестве объекта обмана выступает автоматизированная платежная система [9].

Актуальность проблемы цифрового мошенничества подтверждается и зарубежными эмпирическими исследованиями. Так, в исследовании, проведенном в Индии в 2025 году, отмечается, что за период с 2020 по 2024 год количество инцидентов цифрового мошенничества выросло с 2 677 до 29 082 случаев, а их суммарный объем увеличился со 129 до 1 457 крор рупий. Авторы выделяют в качестве основных причин мошенничества финансовую неграмотность, низкую осведомленность пользователей, уязвимости кибербезопасности и технологическую сложность платежных систем. В качестве приоритетных мер противодействия предлагаются усиление аутентификации пользователей, шифрование и токенизация данных, а также использование искусственного интеллекта для обнаружения мошеннических транзакций в реальном времени [10].

Концептуальное реформирование ст. 159.3 УК РФ должно быть направлено на законодательное признание «цифрового обмана» (обмана алгоритмов, автоматизированных систем верификации, смарт-контрактов) в качестве самостоятельного способа совершения хищения. Одновременно необходимо снижение репрессивного бремени по ст. 158 УК РФ для мелких бытовых хищений найденных карт посредством возвращения их в модернизированную ст. 159.3 УК РФ с сохранением квалифицирующих признаков для организованных форм.

На основании анализа результатов, полученных в проделанной исследовательской работе, можно сформулировать вывод о неэффективности сложившейся модели дифференциации ответственности за хищения, совершаемые с применением электронных платежных средств. Сложившаяся судебно-следственная практика наглядно указывает на факт существования системного кризиса, который выражается в избыточной репрессии относительно ситуативных правонарушителей, при одновременной нормативной пассивности особого состава мошенничества в рамках противодействия организованным формам киберпреступности. Правоприменитель предоставляет законодателю сигнал о важности нормативного изменения вектора наказания, что делает актуальной реформу как ст. 158, так и ст. 159.3 УК РФ.

Говоря о конкретных рекомендациях, они традиционно включают в себя законодательное признание «цифрового обмана» автоматизированных платежных систем в качестве самостоятельного способа хищения в рамках ст. 159.3 УК РФ. Помимо прочего, важную роль играет исключение оплаты найденной карты из сферы действия п. «г» ч. 3 ст. 158 УК РФ

и отнесение таких деяний к модернизированному составу ст. 159.3 УК РФ. Наконец, значимо также усиление ответственности за организованные формы мошенничества с использованием ЭСП (социальная инженерия, фишинг) путем введения квалифицирующих признаков в ст. 159.3 УК РФ.

Список литературы

1. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ (в ред. от 10 июня 2026 г.) // Собрание законодательства Российской Федерации. 1996. № 25. Ст. 2954.

2. Определение Судебной коллегии по уголовным делам Верховного Суда Российской Федерации от 29 сентября 2020 г. № 12-УДП20-5-К6 // Бюллетень Верховного Суда Российской Федерации. – 2021. № 8.

3. Клепицкий И. А. Кража безналичных денег: простой ответ на простой вопрос // Уголовное право. – 2020. – № 5. – С. 78–87.

4. Скляров С. В. Обман при хищении // Уголовное право. – 2020. – № 5. – С. 105–112.

5. Русскевич Е. А., Чернова К. Б. Актуальные проблемы квалификации хищений, совершаемых с использованием электронных средств платежа // Вестник экономической безопасности. – 2021. – № 1. – С. 128–130.

6. Петрякова Л. А. Мошенничество с использованием электронных средств платежа // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Юридические науки. – 2020. – № 1 (40). – С. 33–37.

7. Strafgesetzbuch (StGB) § 263a – Computerbetrug [Электронный ресурс]. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/stgb/__263a.html (дата обращения: 31.08.2026).

8. Code pénal. Article 313-1 [Электронный ресурс] // Légifrance : le service public de la diffusion du droit. URL: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006418192 (дата обращения: 20.08.2026).

9. Уголовный кодекс Китайской Народной Республики [Электронный ресурс] // Посольство Китайской Народной Республики в Российской Федерации. – URL: https://ru.china-embassy.gov.cn/rus/zfhz_0/zgflyd_142850/202504/t20250430_11614090.htm (дата обращения: 20.08.2026).

10. Singh A. K., Agarwal K. K. An Overview of Digital Payment Frauds: Causes, Consequences, and Countermeasures // Journal of Informatics Education and Research. 2025. Vol. 5. № 1. P. 1–14.

УДК 004.056

МЕТОДИКИ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕЖСЕТЕВЫХ ЭКРАНОВ

Косинов Ю.А., системный архитектор ООО «АйСиЭл Системные Технологии», с. Усады, Лаишевский район, Республика Татарстан, Россия;
ORCID: 0009-0006-3742-1089

FIREWALL PERFORMANCE TESTING METHODS

Kosinov Yu.A., Customer solution architect «ICL ST» Ltd, Usady town, Republic of Tatarstan, Russia;
ORCID: 0009-0006-3742-1089

Аннотация

Производительность является определяющим фактором при выборе межсетевых экранов нового поколения (NGFW), поскольку она напрямую связана с пропускной способностью устройства (трафик при реальной нагрузке) не теряя при этом глубины анализа угроз. Однако

на практике указанные в технической документации значения параметров (скорость соединения, максимальная сессионность и т.д.) трактуются потребителями как абсолютные показатели, применимые к любым эксплуатационным сценариям. В статье проведен анализ существующих подходов к тестированию NGFW, включая положения международных стандартов, методы, применяемые лабораториями, а также наработки, используемые в отечественной практике. Обосновано, что ключевым источником расхождений в итоговых цифрах выступает несовпадение профилей тестового трафика, активированных механизмов безопасности и внутренней архитектуры исследуемых систем. Предложена классификация оценочных методик и сформулированы практические указания по подбору тестовых сценариев с учетом целевых задач конкретного исследования.

Ключевые слова: NGFW, межсетевой экран, производительность, нагрузочное тестирование, RFC 9411, EMIX, Cisco T-Rex

Abstract

Performance is a key factor when choosing next-generation firewalls (NGFW), since it's directly tied to the device's throughput (traffic under real load) without sacrificing the depth of threat analysis. However, in practice, the specs listed in the technical documentation (connection speed, maximum sessions, etc.) are often interpreted by users as absolute figures that apply to any usage scenario. The article analyzes existing approaches to testing NGFWs, including the provisions of international standards, methods used by labs, and practices applied domestically. It is argued that the main reason for discrepancies in the final numbers is the mismatch between test traffic profiles, activated security mechanisms, and the internal architecture of the systems being studied. A classification of evaluation methods is proposed, and practical guidance is provided for selecting test scenarios based on the specific goals of the study.

Keywords: NGFW, firewall, performance, stress testing, RFC 9411, EMIX, Cisco T-Rex

Введение

Современные NGFW объединяют глубокую инспекцию трафика, IPS, антивирус, контроль приложений и TLS-инспекцию. Производительность становится ключевым критерием выбора.

Оценка производительности межсетевых экранов нового поколения (NGFW) на практике сталкивается с рядом методических трудностей. В спецификациях вендоров часто приводятся значения пропускной способности, скорости установки соединений (CPS) и максимального числа одновременных сессий (CC), однако эти показатели получают при различных тестовых конфигурациях, но заказчики воспринимают их как универсальные характеристики, справедливые для любых условий эксплуатации [1, 2]. Такой подход демонстрирует расхождения между паспортными данными и реальными возможностями оборудования.

Рынок измерительных устройств стремительно трансформируется. Российские лаборатории все чаще общаются к отечественным решениям, сервисам аренды оборудования, открытым генераторам трафика. На практике проблема усугубляется отсутствием унифицированного методологического подхода, способного обеспечить воспроизводимость и сопоставимость результатов.

Источниками данных о производительности для конечного потребителя выступают независимые тестовые лаборатории, системные интеграторы, в том числе собственные испытания заказчика, причём каждый из перечисленных каналов имеет присущие ему ограничения и допущения. Существующие нормативные документы, среди которых RFC 2544, RFC 3511 и RFC 9411, задают общие рамки проведения тестов, однако они ориентированы на лабораторное сравнение в идеальных условиях, без охвата многообразия эксплуатационных сценариев [1-4]. В отечественной практике в последние годы ведётся работа по формированию подходов к тестированию, однако целостного национального стандарта на сегодняшний день не представлено [5, 9].

Цель настоящей работы состоит в систематизации и критическом анализе существующих методик оценки быстродействия NGFW, выявлении определяющих факторов, влияющих на измеримые параметры, а также в подготовке практических указаний по выбору тестовых сценариев в зависимости от поставленных исследовательских задач.

1. Основные показатели производительности межсетевых экранов

В основе оценочных процедур для NGFW лежат три показателя: пропускная способность, интенсивность создания новых соединений и ёмкость таблицы одновременно поддерживаемых сессий. Каждый отражает отдельный аспект работы устройства и имеет собственную физическую и архитектурную природу.

Пропускная способность показывает, какой максимальный объём полезной нагрузки способен обработать экран в единицу времени без потерь пакетов в гига-/мегабитах в секунду. Данный показатель обнажает выраженную зависимость от размера передаваемых пакетов: чем меньше пакет, тем выше процессорная нагрузка на обработку каждого из них, и наоборот с увеличением размера пакетов эффективная пропускная способность возрастает. Существенную роль играет и структура трафика: работа с HTTP-запросами, мультимедийными потоками, VPN-туннелями и зашифрованными TLS-соединениями требует принципиально разных вычислительных ресурсов, причём инспектирование защищённых каналов дополнительно сопряжено с затратами на криптографические преобразования. Кроме того, в документации производителей принято разделять значения пропускной способности для разных режимов функционирования, каждый из которых тестируется со своим уникальным набором активированных механизмов, что затрудняет прямое сравнение.

Скорость установления соединений характеризует предельное число новых сессий, которое устройство способно инициировать за одну секунду. В отличие от пропускной способности, эта метрика практически не зависит от объёма передаваемых данных. Основная вычислительная нагрузка ложится на начальный этап создания соединения, включающий анализ заголовков, проверку политик, внесение записи в таблицу состояний и трансляцию адресов (NAT). Определяющими факторами выступают тактовая частота процессоров, эффективность многопоточной архитектуры и степень оптимизации алгоритмов поиска и хэширования. Для NGFW, особенно в сценариях с интенсивным веб-трафиком и микросервисной архитектурой, генерирующих сотни тысяч короткоживущих сессий, данный параметр зачастую оказывается более критичным, чем паспортная пропускная способность, причём высокая пропускная способность не гарантирует приличных значений CPS.

Максимальное количество одновременно обслуживаемых соединений отражает ёмкость таблицы состояний и способность устройства сопровождать активные сессии на протяжении их жизненного цикла. Каждое открытое соединение требует хранения определённого объёма служебной информации – адресов, портов, счётчиков состояния, таймеров. Лимит CC определяется доступным объёмом оперативной памяти и рациональностью организации структур данных, в которых хранятся состояния. Этот показатель приобретает решающее значение в крупных корпоративных сетях, у операторов связи и в центрах обработки данных, где число одновременно активных сессий исчисляется миллионами. Вместе с тем увеличение CC само по себе не влечёт роста ни пропускной способности, ни скорости создания сессий.

Таким образом, три названные метрики выступают как независимые координаты производительности, каждая из которых описывает собственную грань функционирования устройства. Модернизация одного из параметров, как правило, не оказывает воздействия на остальные: расширение оперативной памяти позволит увеличить CC, но не влияет на CPS, установка аппаратных ускорителей может увеличить пропускную способность для отдельных классов трафика, оставляя неизменной производительность установки сессий. Именно поэтому действующие стандарты, включая RFC 9411, предусматривают проведение раздельных испытаний для каждой из указанных характеристик [3].

Паспортные данные не противоречивы – они описывают разные режимы работы. Ошибки возникают при их интерпретации как универсальной гарантии без учета реального трафика и активированных функций защиты.

2. Факторы, влияющие на результаты тестирования производительности межсетевых экранов

Результаты испытаний NGFW существенно различаются у разных производителей и лабораторий, а лабораторные значения часто выше реальной производительности. Причина – не маркетинг, а различие условий испытаний. Производительность зависит от профиля трафика, активированных механизмов защиты и аппаратной архитектуры.

Состав тестового трафика – один из наиболее значимых факторов. Даже при одинаковом среднем объеме разные типы взаимодействия предъявляют различные требования к ресурсам. Передача крупных файлов создает немного длительных соединений, веб-приложения порождают множество короткоживущих сессий, каждая требует полного цикла обработки.

Набор активированных функций безопасности существенно влияет на производительность. NGFW выполняют глубокий анализ трафика (инспекция приложений, IPS, антивирус, TLS-дешифрование, контроль активности, журналирование). Каждый дополнительный механизм увеличивает вычислительную нагрузку. Наиболее ресурсоемка TLS-инспекция: устройство должно завершить сеанс, расшифровать данные, проверить и зашифровать обратно это требует значительных ресурсов и может многократно снизить пропускную способность. Поэтому сравнивать устройства можно только при идентичном наборе активированных функций.

Архитектурные особенности также играют роль. Современные NGFW используют аппаратные ускорители (ASIC, FPGA, NPU, SmartNIC) наряду с программной обработкой. Они повышают производительность типовых операций (фильтрация, NAT, проверка сумм), снижая нагрузку на CPU. Но их эффективность ограничена: при появлении неаппаратно обрабатываемого трафика он передается на CPU, и производительность падает. Паспортная производительность зависит от доли трафика, обрабатываемой аппаратно.

Таким образом, паспортные характеристики – это не гарантия производительности в любой системе, а результаты испытаний в строго определенных условиях для сопоставления устройств. Ошибка возникает, когда пропускная способность, CPS и CC воспринимаются как универсальные характеристики без учета профиля трафика, активированных функций и условий эксплуатации.

Наибольшее влияние на пропускную способность оказывают размер пакетов, профиль приложений, TLS-инспекция, IPS и производительность CPU (критическое или высокое). На CPS влияют профиль приложений и производительность CPU (критическое). На CC – объем оперативной памяти (критическое).

Таким образом, для корректной оценки производительности NGFW недостаточно знать только паспортные характеристики, необходимо понимать, какие факторы и в какой степени влияют на результат. Именно поэтому анализ существующих методик тестирования должен учитывать все перечисленные выше аспекты.

3. Анализ современных методик тестирования производительности межсетевых экранов

Методики тестирования эволюционировали от оценки базовых характеристик маршрутизаторов до учета сложной архитектуры NGFW. Большинство основаны на едином принципе – строго регламентированных условиях для воспроизводимости. Однако выбор трафика, последовательность испытаний и набор показателей существенно различаются.

RFC 2544 (1999) предназначался для маршрутизаторов и коммутаторов, но применялся и для межсетевых экранов. Он определяет базовые испытания (пропускную способность, задержки, потери пакетов) на синтетическом трафике. Ограничения: стандарт ориентирован на сетевой уровень и не учитывает глубокую инспекцию, анализ приложений и IPS [1].

RFC 3511 развил подход, добавив специфические для состояний экрана характеристики. Однако документ не охватывает такие обязательные для современных NGFW функции,

как распознавание прикладных протоколов, инспектирование TLS-трафика и системы предотвращения вторжений (IPS) [2].

Значительным шагом вперёд в этой области стал стандарт RFC 9411 (NetSecOPEN), разработанный с учётом специфики не только межсетевых экранов нового поколения, но и комплексных платформ защиты, включая IPS. Его принципиальная новация состоит в отказе от поиска единственного интегрального показателя: продуктивность работы устройства трактуется как множество независимых характеристик, каждая из которых оценивается в собственных тестовых условиях. Отличительной чертой методологии выступает применение прикладного HTTP(S)-трафика, что обеспечивает высокую степень воспроизводимости результатов в отличие от смешанного профиля EMIX, для которого не выработан общепризнанный стандарт. Подход NetSecOPEN подтверждает обоснованность раздельного тестирования трёх базовых метрик [3, 4].

Сравнительный анализ показывает, что RFC 9411 заметно превосходит предыдущие нормативные акты по ряду позиций: охватывает прикладной уровень моделей взаимодействия, опирается на профили HTTP(S), учитывает современные функциональные возможности NGFW и создаёт условия для надёжного сопоставления изделий разных вендоров. Для сравнения, RFC 3511 затрагивает прикладной уровень лишь фрагментарно, тогда как RFC 2544 ограничивается исключительно сетевым уровнем и не рассматривает вышестоящие протоколы.

Реальная практика тестирования NGFW не исчерпывается требованиями вышеупомянутых стандартов. Синтетические потоки данных представляют собой легко воспроизводимый вариант, к которому прибегают при формировании паспортных характеристик. Однако такая упрощённая модель не способна передавать всё разнообразие и нерегулярность трафика, наблюдаемого в корпоративных сетях. Альтернативой выступает профиль EMIX, имитирующий статистическую структуру нагрузки в офисных и промышленных средах, но размытость его спецификации снижает объективность сравнения тестов, выполненных разными лабораториями [8].

Независимые испытательные центры, среди которых NSS Labs и CyberRatings.org, стремятся максимально приблизить тестовые сценарии к условиям эксплуатации, оценивая производительность устройств при одновременно активированных механизмах IPS, прикладного распознавания, веб-фильтрации и инспекции зашифрованных каналов. Например, CyberRatings.org отказался от EMIX в пользу стандартизированного HTTP(S)-трафика, что позволило повысить сопоставимость результатов между различными тестовыми сериями [7].

В отечественной практике также формируются собственные методологические подходы. После ухода с рынка зарубежных поставщиков измерительного оборудования возрос интерес к российскому комплексу Xinertel, к услугам аренды стендов и открытым генераторам, например Cisco T-Rex и Yandex Pandora [9-12]. Специалистами ICL Системные технологии предложен оригинальный метод, при котором нагрузочные сценарии конструируются на основе анализа реальных потоков защищаемой инфраструктуры с привлечением данных NetFlow, sFlow и IPFIX [6]. Такой подход обеспечивает высокую достоверность имитации, однако сопряжён с необходимостью предварительного мониторинга и трудоёмкой подготовительной работой.

4. Классификация сценариев нагрузочного тестирования межсетевых экранов

Проведённый анализ свидетельствует о том, что источником расхождений служат не сами метрики, а различие исследовательских задач, решаемых в ходе тестирования. Сценарии могут быть ориентированы на предельную производительность, сравнение решений или прогнозирование поведения в конкретной системе. Универсального сценария не существует, выбор определяется целью, а не доступностью генератора трафика.

Ошибки возникают, когда результаты одного сценария используют для несвойственных задач. Например, сравнение устройств по профилю корпоративного трафика не дает объ-

ективной оценки преимуществ платформы, а паспортные характеристики не позволяют прогнозировать производительность в конкретной организации.

Предлагается разделить процесс оценки на два этапа:

1. Сравнительная оценка оборудования. На этапе выбора решений задача – объективное сопоставление характеристик моделей. Предпочтительны результаты по единым правилам со стандартизованными профилями (RFC 9411/NetSecOPEN) [3, 4]. Наиболее информативны три метрики, измеренные раздельно. Важно учитывать условия испытаний: состав активированных функций, TLS-инспекцию, журналирование, размеры пакетов и профиль трафика. Следует оценивать полноту описания методики.

2. Валидация для конкретной инфраструктуры. После предварительного выбора нужна проверка для конкретной системы. Синтетических профилей недостаточно. Сценарий формируется на основе статистики реальной сети из данных NetFlow, sFlow, IPFIX или PCAP-дампов [6, 10]. Это позволяет определить структуру протоколов, размеры пакетов, интенсивность соединений, длительность сессий. Сценарии на основе реального трафика точнее прогнозируют поведение, чем EMIX или синтетика, но их результаты не подходят для универсального сравнения производителей.

Принцип выбора методики:

– Сравнение моделей – стандартизованные сценарии (RFC 9411/NetSecOPEN) для воспроизводимости и идентичности условий [3, 4].

– Оценка для конкретной инфраструктуры – нагрузка на основе реального трафика (NetFlow/PCAP) [6, 10].

– Определение предельных возможностей (паспортные характеристики) – синтетические профили с раздельным измерением трех метрик.

Выбор определяется целью, а не инструментом. Предлагаемый подход объединяет преимущества международных стандартов и отечественных практик.

Алгоритм оценки производительности (три ключевых этапа):

1. Подготовка. Определить цели испытаний (сравнение, паспортные характеристики или проверка для конкретной инфраструктуры) и выбрать соответствующую методику (синтетический трафик, стандартизованный HTTP(S)-профиль или сценарий на основе реального трафика).

2. Проведение испытаний. Сформировать профиль нагрузки, измерить три метрики раздельно по выбранному сценарию. При необходимости оценить влияние механизмов защиты (IPS, TLS, контроль приложений, журналирование).

3. Анализ результатов. Сопоставить результаты с требованиями системы, рассчитать резерв производительности (рекомендуется 20-30% от пика). Минимизировать риск выбора оборудования на основе неверно интерпретированных характеристик [5, 6].

Заключение

Проанализированы подходы к оценке производительности NGFW, стандарты (RFC 2544, RFC 3511, RFC 9411), практики лабораторий и отечественные методики. Разногласия при интерпретации результатов обусловлены не недостатками метрик, а различием целей и условий испытаний.

Перспективные направления: унификация профилей на основе обезличенных данных мониторинга, критерии соответствия лабораторных сценариев реальным условиям, адаптация методик для отечественных платформ, автоматизация тестирования.

Список литературы

1. Bradner S., McQuaid J. Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices // RFC 2544. IETF, 1999.

2. Hickman K., Newman D. Benchmarking Methodology for Firewall Performance // RFC 3511. IETF, 2003.

3. Makkes M., van der Gaast M., et al. Benchmarking Methodology for Network Security Device Performance // RFC 9411. IETF, 2023.

4. NetSecOPEN Test Methodology. URL: https://netsecopen.org (дата обращения: 28.07.2026).

5. Данилов А. Практикум. Как измерить производительность NGFW // Материалы конференции InfotecsFest. 2024.

6. Михайлов Д., Галимов Р., Зайнуллин Р. Методика нагрузочного тестирования средств межсетевого экранирования // Вестник современных цифровых технологий. 2024. № 2. С. 57-69.

7. CyberRatings.org. Enterprise Firewall Test Methodology. URL: https://cyberratings.org (дата обращения: 28.07.2026).

8. IDECO. Почему EMIX больше не является универсальной метрикой производительности NGFW // Хабр. 2025. URL: https://habr.com/ru/companies/ideco/articles/1061244/ (дата обращения: 28.07.2026).

9. Инфосистемы Джет. Лаборатория тестирования NGFW. URL: https://ngfw.jet.su (дата обращения: 28.07.2026).

10. Cisco T-Rex Traffic Generator. URL: https://trex-tgn.cisco.com (дата обращения: 28.07.2026).

11. Yandex Pandora – инструмент нагрузочного тестирования. URL: https://yandex.github.io/pandora/ (дата обращения: 28.07.2026).

12. RuTest.Zone. Сервис проведения нагрузочного тестирования сетевого оборудования. URL: https://rutest.zone/services/testing (дата обращения: 28.07.2026).

УДК 004.056

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В НОВЫХ АРХИТЕКТУРАХ

Косинов Ю.А., системный архитектор ООО «АйСиЭл Системные Технологии», с. Усады, Лаишевский район, Республика Татарстан, Россия;
ORCID: 0009-0006-3742-1089;
Шарова А.Ю., к.т.н., доцент, проректор ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново, Россия;
ORCID: 0000-0002-8847-7203

INFORMATION PROTECTION IN NEW ARCHITECTURES

Kosinov Yu.A., Customer Solution Architect ICL System Technologies LLC, Usady town, Republic of Tatarstan, Russia;
ORCID: 0009-0006-3742-1089;
Sharova A.Yu., Ph.D., associate professor, Vice-Rector, Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia;
ORCID: 0000-0002-8847-7203

Аннотация

Распределенные информационные системы требуют согласованного контроля доступа, состояния компонентов и движения данных, поскольку отдельная проверка сетевого периметра не описывает все значимые взаимодействия между сервисами. Цель исследования состоит в определении условий, при которых платформенная организация защиты, модель нулевого доверия и учет безопасности при проектировании могут быть объединены в последователь-

ную процедуру выбора и проверки архитектурных ограничений. Метод исследования включает сравнительный анализ научных публикаций и технических рекомендаций, выделение функций рассматриваемых подходов и построение иллюстративного сценария межсервисного доступа без проведения натурного эксперимента. В результате предложена последовательность действий, связывающая описание защищаемого ресурса и допустимых операций с формулировкой инварианта, назначением точки контроля, регистрацией нарушения и проверкой реакции системы при штатных и отказных режимах. Показано на уровне концептуального анализа, что платформенная организация обеспечивает общие данные и политики, модель нулевого доверия задает условия предоставления доступа, а безопасность при проектировании позволяет заранее определить ограничения, которые затем реализуются и проверяются средствами разработки и эксплуатации. На примере сервиса формирования отчетов рассмотрены ограничения на область доступа, срок действия полномочий, способ обращения к данным и поведение при недоступности компонента принятия решений; для каждого ограничения указаны наблюдаемый признак нарушения и проверка, позволяющая оценить полноту его реализации. Сформулированы условия пересмотра набора средств защиты: сохранение требуемой функции, отсутствие обходного пути, проверка отказов, сохранение наблюдаемости и документирование остаточного риска; перечисленные условия не означают автоматической допустимости отказа от обязательных мер. Практическая значимость работы состоит в возможности использовать предложенную процедуру при обсуждении архитектуры распределенной системы и подготовке программы ее проверки, тогда как количественная оценка снижения рисков и затрат требует отдельного исследования на конкретном объекте с воспроизводимыми исходными данными, сопоставимой конфигурацией защиты и явно установленными критериями приемки, поскольку результаты анализа не подтверждают универсальную эффективность выбранного сочетания подходов и не устраняют необходимость независимой проверки проектных решений.

Ключевые слова: информационная безопасность; платформенная архитектура; инвариант безопасности; нулевое доверие; безопасность при проектировании; межсервисный доступ; остаточный риск

Abstract

Distributed information systems require coordinated control of access, component state, and data flows because network perimeter checks alone do not describe all relevant interactions between services. This study aims to identify the conditions under which platform-based security, zero trust, and security by design can be combined into a consistent procedure for selecting and verifying architectural constraints. The method comprises a comparative analysis of research publications and technical guidance, a separation of the functions performed by the three approaches, and an illustrative service access scenario that does not involve an experimental deployment. The resulting procedure connects the description of a protected resource and permitted operations to an invariant, an enforcement point, a violation record, and a test of system behavior under both normal and failure conditions. The conceptual analysis distinguishes shared data and policies provided by a platform, access conditions established through zero trust, and constraints specified during design and subsequently implemented and tested during development and operation. A reporting service example considers the permitted scope of access, the lifetime of authorization, the route used to retrieve data, and behavior when the decision component becomes unavailable; each constraint is associated with an observable violation and a verification activity. The study also defines conditions for reviewing the set of security tools: preservation of the required function, absence of bypass routes, failure testing, retained observability, and documented residual risk, without assuming that mandatory safeguards can automatically be removed. The practical contribution is a procedure for architecture review and

verification planning; numerical claims about risk reduction or cost savings require a separate study of a specific system with reproducible input data, a comparable protection configuration, and explicit acceptance criteria.

Keywords: information security; platform architecture; security invariant; zero trust; security by design; service access; residual risk

Введение

В распределенной системе решение о безопасности принимается в нескольких местах: при входе пользователя, выдаче полномочий сервису, обработке запроса и обращении к данным. Если эти проверки используют разные сведения о субъекте или ресурсе, формально разрешенная операция может нарушить ограничения, установленные для системы в целом. Поэтому при проектировании защиты необходимо рассматривать не только отдельные средства, но и связи между ними.

Три подхода помогают описать эту задачу с разных сторон. Платформенная организация объединяет сведения и функции контроля. Модель нулевого доверия, или Zero Trust, определяет основания для предоставления доступа. Безопасность при проектировании, или Security by Design, переносит постановку ограничений на этап разработки архитектуры. В рекомендациях Национального института стандартов и технологий США (NIST) сетевое расположение субъекта само по себе не служит основанием доверия [1]. Это положение не означает отказа от сетевой защиты: оно требует дополнительных оснований для разрешения обращения к ресурсу.

Цель статьи состоит в разработке концептуальной процедуры, которая связывает названные подходы через проверяемые инварианты безопасности. Под инвариантом далее понимается условие, которое должно выполняться для всех операций заданного класса в пределах описанной модели системы. Работа отвечает на два вопроса: где должно исполняться такое условие и какие свидетельства необходимы для оценки его соблюдения. Предмет рассмотрения ограничен распределенными корпоративными приложениями; результаты не заявляются как экспериментальное подтверждение снижения числа атак.

1. Методика и границы исследования

Использован сравнительный анализ четырех источников: рекомендаций по архитектуре нулевого доверия, двух исследований инвариантов и рекомендаций по безопасной разработке. Из каждого источника выделены предмет контроля и способ обоснования защитной функции. Затем рассмотрено, какие элементы можно использовать в общей процедуре проектирования. Публикации об инвариантах относятся к промышленным и киберфизическим системам; перенос их результатов на корпоративные приложения рассматривается как проектная гипотеза, а не как уже доказанный эффект.

В работе C. Feng и соавторов инварианты используются для обнаружения аномальных состояний промышленных систем управления [2]. C. H. Yoong и соавторы рассматривают получение проверок инвариантов из анализа проекта киберфизической системы [3]. Для настоящей статьи значим общий принцип: проверяемое условие связывается с моделью объекта. Показатели эффективности, полученные авторами этих работ на своих объектах, здесь не распространяются на другие архитектуры.

Процедура построена путем последовательного уточнения четырех элементов: защищаемого ресурса, допустимой операции, условия допуска и реакции на нарушение. Для ее пояснения используется условный сервис отчетности. Исходные данные о реальном внедрении, измерения задержек и статистика инцидентов отсутствуют. Поэтому результатом является структура проверки архитектуры, а не расчет эффективности средства защиты. Отсутствие собственной экспериментальной базы ограничивает силу выводов и определяет направление дальнейшей проверки.

2. Платформенная организация и инварианты безопасности

В рамках этой работы платформенная организация защиты означает совместное использование функций идентификации, принятия решений о доступе, управления полномочиями и регистрации событий. Эти функции могут исполняться разными компонентами. Для безопасности существенно, чтобы они опирались на согласованные идентификаторы ресурсов и одинаково понимали ограничения. Наличие единого продукта или интерфейса управления само по себе этого не обеспечивает.

Инвариант следует формулировать достаточно узко, чтобы его выполнение можно было проверить. Утверждение «данные защищены» не задает ни операции, ни признака нарушения. Условие «сервис отчетности получает только записи организации, указанной в подтвержденных полномочиях запроса» позволяет определить область данных, место проверки и ожидаемый отказ. При этом необходимо установить источник сведений об организации: значение, переданное клиентом без проверки, не может подтверждать право доступа.

Из условия выводится точка исполнения политики. Ограничение на выбор записей должно проверяться там, где формируется запрос к хранилищу или выполняется иной эквивалентный контроль. Проверка только на входном шлюзе недостаточна, если сервис может обратиться к данным в обход него. Следовательно, описание архитектуры должно включать все пути получения ресурса, в том числе служебные задания, административные интерфейсы и резервные процедуры.

Общие функции платформы упрощают распространение политики, но создают общие зависимости. Ошибка в службе идентификации или чрезмерные полномочия администратора способны затронуть несколько приложений. Эти зависимости должны учитываться в модели угроз. Для каждого компонента задаются пределы полномочий, правила изменения политики и порядок восстановления после отказа. Централизация без такой проработки может увеличить масштаб последствий ошибки.

3. Нулевое доверие как условие межсервисного доступа

Zero Trust рассматривается здесь как организация принятия решений о доступе к ресурсу. Важно разделять установление личности субъекта и проверку его права на конкретную операцию. Успешная аутентификация сервиса не означает, что ему разрешены все действия в хранилище. Решение должно относиться к заданному ресурсу и учитывать действующие ограничения. Такой выбор области проверки согласуется с ресурсной ориентацией архитектуры NIST [1].

При межсервисном взаимодействии право пользователя и право приложения могут различаться. Сервис способен технически читать большое число записей, но действовать от имени пользователя с узкой областью доступа. Если при передаче запроса теряется связь с этой областью, приложение становится посредником для превышения полномочий. В предлагаемой модели область данных сохраняется на всем пути обработки и повторно проверяется перед выполнением чувствительной операции.

Условия доступа могут включать идентификатор приложения, назначение операции, срок полномочий и принадлежность данных организации. Не следует включать дополнительный параметр только потому, что он доступен системе. Для каждого параметра нужен ответ на вопрос: какое нарушение предотвращает его проверка и насколько надежен источник значения? Неполные сведения или устаревшее состояние устройства способны привести как к ошибочному допуску, так и к отказу законному пользователю.

Повторная оценка доступа имеет смысл при изменении значимых условий. Если полномочия отозваны, а длительная операция продолжает выгружать данные, единичная проверка в начале сеанса не обеспечивает требуемого ограничения. Проект должен определять, когда проверка повторяется и как прекращается уже начатая операция. Допустимая задержка от-

зыва устанавливается для конкретного процесса; универсальное численное значение в этой работе не задается.

Архитектура нулевого доверия не гарантирует обнаружения любой атаки. Субъект с корректными полномочиями может выполнить вредоносное действие в пределах разрешенной функции, а ошибка в политике может сделать нежелательную операцию допустимой. Поэтому необходимы отдельные проверки бизнес-логики, целостности данных и поведения приложения. В общей процедуре Zero Trust отвечает за условия допуска, но не заменяет все остальные защитные функции.

4. Безопасность при проектировании и проверка реализации

Security by Design в предлагаемой процедуре означает, что ограничение, способ его исполнения и проверка определяются до ввода функции в эксплуатацию. Требование безопасности должно быть связано с проектным решением: каким компонентом оно обеспечивается, какие данные использует и что происходит при ошибке. Рекомендации NIST по безопасной разработке предусматривают включение защитных практик в жизненный цикл программного обеспечения [4]. В настоящей работе этот принцип применяется к проверке архитектурных условий.

Для каждого ограничения нужна положительная и отрицательная проверка. Первая подтверждает доступность разрешенной операции, вторая проверяет отказ при нарушении условия. Если программа проверки включает только успешные запросы, она не позволяет установить, действительно ли правило ограничивает доступ. Кроме того, необходима проверка обходных путей: прямого обращения к хранилищу, использования служебной учетной записи и запуска операции через вспомогательный интерфейс.

Поведение при отказе задается отдельно от штатного режима. Недоступность компонента принятия решений не должна незаметно расширять полномочия. Для чувствительной операции можно предусмотреть отказ в выполнении; для иной функции может быть обоснован ограниченный режим по ранее проверенным сведениям. Выбор зависит от ущерба при ошибочном допуске и от требований доступности. Любой такой режим должен иметь срок действия и наблюдаемый признак включения.

Изменение приложения способно нарушить ранее проверенное условие. Например, новый экспорт данных может миновать фильтр, использовавшийся при интерактивном просмотре. Поэтому инвариант связывается с перечнем операций, а проверки выполняются после изменения путей доступа или формата полномочий. Результаты фиксируются вместе с версией конфигурации, чтобы положительный результат проверки одной сборки не использовался как свидетельство для другой.

Предлагаемый результат проектирования представляет собой цепочку «ресурс – операция – условие – точка контроля – свидетельство». Ее завершенность важнее числа установленных продуктов. Если свидетельство отсутствует, проектное намерение еще не подтверждено. Если обнаружено нарушение, требуется различить ошибку модели, ошибку политики и ошибку реализации: эти причины требуют разных исправлений и не устраняются одним усилением мониторинга.

5. Иллюстративный сценарий сервиса отчетности

Рассмотрим условное приложение, в котором пользователь заказывает отчет по данным своей организации. Запрос проходит через входной компонент, сервис отчетности и сервис данных. Сервис отчетности получает полномочия для обращения к данным и возвращает результат пользователю. Пример не описывает внедрение в организациях авторов и не содержит экспериментальных показателей.

Защищаемый ресурс представляет собой записи нескольких организаций в общем хранилище. Допустимая операция состоит в чтении разрешенного набора записей и формировании отчета. Основная угроза примера заключается в доступе к данным другой организации

через подмену параметра запроса или использование более широких служебных полномочий. В таблице 1 представлены условия контроля и действия для проверки их реализации.

Таблица задает проверяемые условия, но не подменяет программу испытаний. Для воспроизводимости следует фиксировать версии компонентов, набор полномочий, входные запросы и ожидаемые результаты. Отдельно проверяется успешное формирование разрешенного отчета: иначе запрет всех обращений может ошибочно выглядеть как выполнение защитного условия.

Таблица 1

Ограничения доступа и способы проверки в условном сервисе отчетности

Условие	Точка контроля	Проверка и свидетельство
Область данных соответствует подтвержденным полномочиям	Сервис данных перед чтением записей	Запрос к чужой организации отклонен; журнал содержит область запроса и основание отказа
Служебные полномочия не расширяют область пользовательского запроса	Сервис отчетности и сервис данных	Попытка чтения вне области пользователя отклонена даже при широких правах приложения
Истекшие или отозванные полномочия не дают доступа	Компонент допуска и сервис данных	Повторный запрос после истечения срока отклонен; задержка отзыва измерена
Прямой маршрут не обходит проверку	Все интерфейсы хранилища	Прямой и пакетный запросы проходят эквивалентный контроль либо недоступны
Отказ компонента решения не расширяет доступ	Компонент допуска	При отключении службы выполняется предусмотренный ограниченный режим; его включение зарегистрировано

Источник: разработано для иллюстративного сценария.

6. Условия пересмотра набора средств защиты

Встроенный контроль может выполнять функцию, ранее возложенную на отдельный компонент. Однако совпадение названий функций недостаточно для решения о замене. Нужно сравнить область применения, полноту проверяемых операций и поведение при отказах. Средство, контролирующее только интерактивные запросы, не эквивалентно механизму, охватывающему также пакетную выгрузку. Решение о пересмотре защиты принимается по каждой функции отдельно.

Предлагаются пять условий такого решения. Во-первых, защитная функция описана независимо от продукта. Во-вторых, новая реализация охватывает все предусмотренные пути обращения к ресурсу. В-третьих, проверены штатный режим, отказ и восстановление. В-четвертых, события позволяют обнаружить нарушение и установить его причину. В-пятых, остаточный риск принят ответственным владельцем процесса и отражен в документации. Это проектные критерии оценки, а не разрешение игнорировать обязательные требования.

Для сценария отчетности возможным предметом сравнения является ограничение межорганизационного доступа. Если новая проверка области данных выполняется только в сервисе отчетности, а служебное задание обращается к хранилищу напрямую, требование полноты не выполнено. Удаление другого контроля в таком случае оставит обходной путь. Если оба маршрута проверяются, необходимо дополнительно оценить компрометацию компонента проверки и полноту журналирования.

Применение процедуры также зависит от возможности наблюдать защищаемую операцию. Если система не различает действия субъектов или не сохраняет сведения о принятом решении, подтверждение инварианта затруднено. Поэтому внедрение контроля начинается с описания ресурсов и потоков данных. Для устаревших приложений может потребоваться промежуточный слой проверки; его ограничения должны учитываться отдельно от целевой модели.

Заключение

В статье предложена концептуальная процедура согласования платформенной организации защиты, Zero Trust и Security by Design через проверяемые инварианты. Платформа предоставляет общие функции и данные, модель нулевого доверия определяет основания допуска, а проектирование связывает ограничение с конкретной реализацией и программой проверки. Их совместное применение имеет смысл при сохранении этой связи на всех путях доступа к ресурсу.

Практический результат состоит в последовательности «ресурс – операция – условие – точка контроля – свидетельство» и в пяти критериях пересмотра защитной функции. Иллюстративный сценарий показывает, какие вопросы необходимо решить для ограничения межсервисного доступа: сохранить область полномочий, исключить обходной маршрут, определить задержку отзыва и заранее задать режим отказа. Выполнение этих действий позволяет сделать архитектурное решение проверяемым, но не доказывает отсутствие всех уязвимостей.

Ограничение исследования заключается в отсутствии натурной проверки и количественных измерений. Для дальнейшей оценки требуется реализовать сценарий в тестовой среде, воспроизвести нарушения каждого условия и сопоставить результаты с исходной конфигурацией. Измерять следует полноту контроля, задержку отзыва, долю ошибочных отказов и влияние недоступности общего компонента. Только такие данные позволят обсуждать снижение остаточного риска и изменение затрат для конкретного объекта.

Список литературы

1. Rose, S. Zero Trust Architecture / S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell, S. Connelly. – Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2020. – (NIST Special Publication 800-207). – DOI 10.6028/NIST.SP.800-207. – URL: https://www.nist.gov/publications/zero-trust-architecture (дата обращения: 04.10.2026). – Текст : электронный.

2. Feng, C. A Systematic Framework to Generate Invariants for Anomaly Detection in Industrial Control Systems / C. Feng, V. R. Palleti, A. Mathur, D. Chana // Proceedings of the Network and Distributed System Security Symposium. – 2019. – DOI 10.14722/ndss.2019.23265. – URL: https://www.ndss-symposium.org/wp-content/uploads/2019/02/ndss2019_07A-3_Feng_paper.pdf (дата обращения: 04.10.2026). – Текст : электронный.

3. Yoong, C. H. Deriving invariant checkers for critical infrastructure using axiomatic design principles / C. H. Yoong, V. R. Palleti, R. R. Maiti, A. Silva, C. M. Poskitt // Cybersecurity. – 2021. – Vol. 4. – Article 6. – DOI 10.1186/s42400-021-00069-7. – URL: https://link.springer.com/article/10.1186/s42400-021-00069-7 (дата обращения: 04.10.2026). – Текст : электронный.

4. Souppaya, M. Secure Software Development Framework (SSDF) Version 1.1: Recommendations for Mitigating the Risk of Software Vulnerabilities / M. Souppaya, K. Scarfone, D. Dodson. – Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2022. – (NIST Special Publication 800-218). – DOI 10.6028/NIST.SP.800-218. – URL: https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/218/final (дата обращения: 04.10.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.8:69

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ К ПОСТРОЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ

Курилова Е.И., студент;
ORCID: 0009-0008-0656-3978;
E-mail: ekurilova944@gmail.com;
Лифанов А.Д., научный руководитель, к.х.н., доцент кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия

ANALYSIS OF APPROACHES AND TOOLS FOR BUILDING INTELLIGENT SOFTWARE SECURITY SYSTEMS FOR RESIDENTIAL COMPLEXES

Kurilova E.I., student;
E-mail: ekurilova944@gmail.com;
ORCID: 0009-0008-0656-3978;
Lifanov A.D., Scientific Supervisor, PhD in Chemical Sciences, Associate Professor of the Department for Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Аннотация

Проведён анализ современных подходов и инструментов построения интеллектуальных систем безопасности многоквартирных жилых комплексов. Выявлены три ключевые проблемы существующих решений: высокая частота ложных срабатываний (до 90% без фильтрации), снижение бдительности оператора при длительном наблюдении за видеостенами и отсутствие интеграции между подсистемами (видеонаблюдение, контроль доступа, датчики). Предложена методология, включающая четыре принципа: эшелонированная защита по рубежам (внешний периметр, зона доступа, внутренние коммуникации, квартирный уровень), пространственно-временная корреляция событий, сценарное моделирование на основе конечных автоматов и байесовских сетей, а также человеко-машинный баланс с точечным подключением оператора для принятия решений в нестандартных ситуациях. Разработана архитектура программно-аппаратного комплекса, объединяющая видеоаналитику на сверточных нейронных сетях (фреймворки OpenCV и NCNN) с запуском на edge-устройствах, систему контроля доступа с мобильными идентификаторами (протоколы BLE и UWB), IoT-сенсоры (протечки, дыма, движения) и платформу класса PSIM с поддержкой открытых стандартов ONVIF, MQTT и BACnet. Проведён натурный эксперимент в пилотной зоне жилого комплекса. Получены количественные результаты: точность классификации объектов достигла 97,2%, число ложных срабатываний камер снизилось на 78% ($p < 0,001$), доля ложных вызовов групп быстрого реагирования после корреляционной обработки уменьшилась с 65% до 12%, среднее время реакции оператора сократилось до 4,2 секунды, нагрузка на оператора упала со 120–150 до 5–8 осмысленных алертов за смену. Сформулированы рекомендации по поэтапному внедрению разработанной системы с учётом правовых, организационных и экономических барьеров. Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенных решений управляющими компаниями и застройщиками для повышения защищённости жилых комплексов и снижения эксплуатационных расходов.

Ключевые слова: интеллектуальная система безопасности, жилой комплекс, эшелонированная защита, корреляция событий, видеоаналитика, распознавание лиц, нейросетевые алгоритмы, человеко-машинный баланс, PSIM, IoT-сенсоры

Abstract

This article analyzes current approaches and tools for building intelligent security systems for multi-apartment residential complexes. Three key problems of existing solutions are identified: a high false-alarm rate (up to 90% without filtering), decreased operator vigilance during long-term monitoring of video walls, and a lack of integration between subsystems (video surveillance, access control, and sensors). The proposed methodology includes four principles: layered protection by perimeters (external perimeter, access zone, internal communications, and apartment level), spatiotemporal events correlation, scenario modeling based on finite state machines and Bayesian networks, and a human-machine balance with targeted operator input for decision-making in non-standard situations. A hardware and software architecture has been developed that integrates video analytics on convolutional neural networks (OpenCV and NCNN frameworks) with execution on edge devices, an access control system with mobile identifiers (BLE and UWB protocols), IoT sensors (leak, smoke, motion), and a PSIM-class platform supporting open standards ONVIF, MQTT, and BACnet. A field experiment has been conducted in a pilot zone of a residential complex. The quantitative results have been obtained: accuracy of objects classification reached 97.2%, the number of camera false alarms decreased by 78% ($p < 0.001$), the proportion of false dispatches of rapid response teams after correlation processing decreased from 65% to 12%, the average operator response time decreased to 4.2 seconds, and the operator workload fell from 120–150 to 5–8 meaningful alerts per shift. Recommendations for the phased implementation of the developed system were formulated, taking into account legal, organizational, and economic barriers. The practical significance of this work lies in the possibility of using the proposed solutions by management companies and developers to improve the security of residential complexes and reduce operating costs.

Keywords: intelligent security system, residential complex, layered defense, event correlation, video analytics, facial recognition, neural network algorithms, human-machine balance, PSIM, IoT sensors

Введение

Современные технологии меняют наши представления и о безопасности. Умный дом – это еще далеко не всегда дом безопасный. К примеру, обычный датчик присутствия, который проектировался для автоматизации освещения или энергосбережения. Этот датчик можно направить на предотвращение ущерба: если в квартире никого нет, а расход воды фиксируется, система сама может перекрыть стояк. Такой сценарий работает уже не на комфорт, а на защиту.

Однако реальная практика в жилых комплексах, даже бизнес-класса, пока далека от этого. Умные камеры домофонов плохо распознают лица, не отличают жильца от постороннего, не замечают подозрительного поведения. Классические охранные извещатели без интеллектуальной фильтрации реагируют на все подряд: животных, ветки, блики фар. Авторы [4] подчеркивают: человеческий фактор порождает значительную часть инцидентов информационной безопасности. Когда оператор часами следит за десятками видеопотоков, он неизбежно теряет бдительность, а датчики без специализированных фильтров срабатывают слишком часто. Система безопасности превращается в источник раздражения, а не в реальный инструмент защиты.

Интеллектуальная система мониторинга могла бы справляться с непрерывным наблюдением и первичной фильтрацией лучше человека, но и она не идеальна. Лучшим выбором будет совместить их возможности: устройства собирают информацию, программный комплекс отсеивает ложные тревоги и выделяет подозрительные события, а человек подключается точечно, когда требуется принять взвешенное решение. Похожие мысли мы нашли в современных работах по обнаружению аномалий и мультиагентным архитектурам [3, 6].

В своем исследовании сосредоточились на системах безопасности многоквартирных жилых комплексов. *Предмет исследования* – методология, связывающая видеоаналитику, си-

стемы контроля и управления доступом (СКУД) и IoT-сенсоров (Internet of Things, интернет вещей) в единый интеллектуальный контур с эшелонированной защитой. Мы выдвинули *гипотезу:* если применить эшелонирование рубежей, пространственно-временную корреляцию событий и нейросетевую фильтрацию, число ложных тревог снизится не менее чем на 70%, при этом чувствительность к реальным угрозам сохранится.

Мы поставили *цель* – разобрать методологические подходы и инструменты, позволяющие построить эффективную защиту многоквартирного дома на стыке видеоаналитики, СКУД и IoT-сенсоров. Для этого последовательно решили четыре задачи. Во-первых, систематизировали проблемы существующих систем безопасности в жилых комплексах. Во-вторых, обосновали применение эшелонированной защиты и корреляции событий. В-третьих, рассмотрели нейросетевые алгоритмы и мультиагентные системы. И наконец, предложили дорожную карту внедрения с учетом организационных, правовых и экономических преград.

Мы работали *методами* натурного эксперимента (на базе типового жилого комплекса), имитационного моделирования угроз, статистической обработки данных и сравнительного анализа алгоритмов видеоаналитики.

Научная новизна работы:

1. Методологию эшелонированной защиты адаптировали для многоквартирных комплексов с учетом многослойности среды и динамичности состава пользователей.

2. Мы разработали архитектуру, объединяющую разнородные подсистемы – видеоаналитику на NCNN (нейросетевой фреймворк с открытым исходным кодом)/OpenCV (Open Source Computer Vision Library, библиотека компьютерного зрения), СКУД на BLE (Bluetooth Low Energy, Bluetooth с низким энергопотреблением)/UWB (Ultra-Wideband, сверхширокополосная связь) и IoT-сенсоры – на базе платформы PSIM (Physical Security Information Management – система управления информацией физической безопасности) с децентрализованной обработкой и корреляцией событий прямо на edge-устройствах (периферийных вычислительных узлах, или краевых устройствах).

3. Разработали метод пространственно-временной корреляции событий между рубежами защиты – он сокращает число ложных тревог, не снижая чувствительности.

Анализ современных подходов к обеспечению безопасности жилых комплексов

Традиционная система безопасности здания опирается на три элемента: физическую охрану, охранно-пожарную сигнализацию и контроль доступа. Когда подконтрольных точек немного, такая схема еще справляется со своими задачами. Но современный жилой комплекс на сотни квартир и десятки камер моментально вскрывает ее системные ограничения.

Начнем с человеческого фактора – возможно, самого серьезного из этих ограничений. Эргономические исследования [1] не оставляют сомнений: уже через 20–30 минут наблюдения за видеостеной оператор перестает замечать важные события, а с ростом числа видеопотоков он теряет концентрацию экспоненциально. В такой ситуации камеры фактически только фиксируют инцидент, но не помогают его предотвратить. Эксперты утверждают: в жилых комплексах больше 60 % камер просто пишут видео, а не помогают предотвращать инциденты.

Вторая хроническая беда – большое количество ложных срабатываний. Обычные извещатели без интеллектуальной фильтрации реагируют на животных, качающиеся ветки и блики фар, значительная часть тревог оказывается ложной, что подтверждается практикой эксплуатации таких систем [2; 6]. Авторы [2] продемонстрировали: корреляционная обработка и нейросетевая фильтрация резко снижают долю ложных срабатываний. Поэтому жильцы и персонал не привыкают к ложным тревогам: не перестают на них реагировать, и система защиты из инструмента не превращается в раздражитель.

Добавим сюда уязвимости самой автоматизации. Многие серийные устройства имеют незадокументированные команды, позволяющие злоумышленнику перехватить управление дверными приводами через штатный интерфейс RS-485. Специалисты по информационной

безопасности признают, что существующие методы шифрования и аутентификации часто не реализованы на уровне прошивки, а штатные специалисты служб эксплуатации не обладают достаточной квалификацией для их настройки. В итоге классическая схема «один рубеж – одна функция» в современных условиях уже не дает нужного эффекта. Мы видим, как разработчики, пытаясь снять эти ограничения, все чаще обращаются к компьютерному зрению и машинному обучению. Авторы [1] описали программное обеспечение, которое объединяет видеонаблюдение, пропускной режим и пожарную защиту на встраиваемых платформах со слабой вычислительной мощностью. Они применили сверточную сеть NCNN с защитой от спуфинга (подделке биометрических данных), но признают: более точные нейросети требуют больше ресурсов, которые часто не вписываются в рамки и бюджет для массового внедрения.

Альтернативный путь – обучаемые в процессе эксплуатации системы. В [2] показано, как экспертные знания можно преобразовать в структуру нечеткой нейросети с конъюнктивными правилами. Нам особенно интересны сети адаптивного резонанса (ART): они дообучаются на ходу, подстраиваясь под новые угрозы в реальном времени.

Другое перспективное направление – мультиагентные системы, отказывающиеся от жесткой централизации. Их сильные стороны, по оценке [6], – гибкость, возможность достигать компромиссов и масштабируемость без расширения штата. Авторы [6] предлагают архитектуру киберфизической системы контроля периметра с тремя функциональными уровнями (агрегации, периферийный и сбора данных) и агентами, которые могут пассивно собирать информацию или активно опрашивать соседей. Эксперименты подтвердили, что при интенсивности до 6 запросов/мс среднее время обслуживания составляет менее 1 мс, что доказывает идея работоспособна. Однако и здесь стоит отметить нехватку проектов, нацеленных именно на жилые помещения; большинство решений пока остаются на стадии прототипов.

Практические трудности не сводятся к вычислительным ограничениям. Распознавание лиц заметно теряет точность при плохой освещенности, непогоде, головных уборах и очках, что лишний раз подтверждает необходимость комбинирования нескольких способов идентификации.

Отдельного упоминания заслуживает надежность персонала. В работе [7] предложены показатели личностной предрасположенности к инсайдерской деятельности – депрессия, зависимости, финансовые обязательства. Хотя исследование было для ИБ предприятий, но его выводы применимы и к охране в жилых комплексах. Проблема в том, что такие показатели требуют периодического обновления, а специалисты по безопасности, недостаточно осведомлены о человеко-ориентированных методиках. В результате даже самый совершенный алгоритм остается уязвимым, если человек на посту сам становится источником риска.

Мы выделили три ключевых ограничения, мешающих существующим подходам.

1. Классические системы (физическая охрана, сигнализация, видеонаблюдение без аналитики) перестают справляться, когда речь заходит о масштабе жилого комплекса: слишком много ложных тревог, неизбежный человеческий фактор и отсутствие реальной интеграции между подсистемами.

2. Нейросетевые решения хорошо распознают лица и обнаруживают аномалии, но внедрить их в жилом доме мешают маломощные встраиваемые технологии и открытые вопросы о конфиденциальности жильцов.

3. Децентрализованные мультиагентные и киберфизические архитектуры привлекают адаптивностью и способностью распределять нагрузку без роста штата. Но в жк они пока не продвинулись дальше экспериментальных прототипов.

Главным нерешенным вопросом мы видим методологию интеграции разнородных подсистем (видеоаналитика, СКУД, датчики протечек и задымления, системы оповещения) в единый интеллектуальный контур, который умеет коррелировать события и автоматически запускать сценарии реагирования. Именно на этом мы и сосредоточились в последующих разделах.

Методология построения интеллектуальной системы безопасности

Методология держится на четырех принципах: эшелонированная защита, корреляция событий, сценарное моделирование и человеко-машинный баланс. Они определяют, как мы обрабатываем данные и принимаем решения, а технически мы опираемся на видеоаналитику, СКУД, IoT-сенсоры и платформенную интеграцию. В этом разделе приводится обоснование и выбор каждого элемента и описывается общая архитектура программно-аппаратного комплекса.

Классическая охрана объектов обычно сводится к одному барьеру – физическому или техническому. Но жилой комплекс – это открытая многослойная среда, в которой одновременно взаимодействуют жильцы, гости, обслуживающий персонал и случайные прохожие. Пытаясь закрыть все угрозы одним рубежом, мы получаем большое количество ложных тревог, либо слепые зоны. Для преодоления этой проблемы, можно разбить пространство на несколько последовательных рубежей, где каждый решает собственную задачу и обменивается информацией с соседними уровнями. Такая архитектура дает возможность не просто фиксировать отдельные события, а отслеживать цепочки перемещений объектов, повышая шансы обнаружить угрозу на ранней стадии.

Мы выделили четыре рубежа. Отведем внешнему периметру – двору, парковке, прилегающей территории – задачу первичной классификации объектов (человек, автомобиль, животное) и фиксации самого факта появления. На уровне зоны доступа (входные группы, холлы первых этажей, лифты) происходит идентификация и проверка, разрешено ли открытие двери. Внутренние коммуникации – коридоры, лестничные пролеты, лифтовые холлы – позволяют нам анализировать поведение: задержки у чужих дверей, перемещения без ключа, попытки проникновения. Наконец, квартирный рубеж с индивидуальными датчиками открытия, движения, дыма и протечек, которые работают не изолированно, а с постоянной оглядкой на контекст предыдущих уровней – именно это позволяет отличать штатные ситуации от тревожных.

Такая многослойность повышает надежность и разгружает оператора: мы активируем следующий рубеж только при подозрительных сигналах с предыдущего уровня. Однако одного эшелонирования мало – хаотичный поток данных от десятков датчиков никуда не исчезает. В ядро системы мы закладываем корреляцию событий: она связывает разрозненные сигналы в цепочки и на этой основе принимает решения.

Корреляция работает на двух уровнях: пространственном (сопоставляем сигналы от разных датчиков в одной зоне) и временном (анализируем последовательность событий). Похожий способ организации взаимодействия описывают авторы мультиагентных архитектур: там децентрализованные агенты обмениваются информацией и совместно обрабатывают события, чтобы выявить аномалии [6]. Математически мы сводим задачу к построению графа событий, где вершины – зафиксированные триггеры, а ребра – отношения следования и близости. Для каждого инцидента вычисляем интегральную оценку угрозы:

$$P_{\text{угрозы}} = f\left(\{e_i\}, \Delta t_{ij}\right),$$

где e_i – вектор признаков i-го события (тип сработавшего датчика, его пространственная зона, насколько сигнал отклонился от типичного профиля), Δt_{ij} – временной интервал между событиями i и j. В качестве функции f используется взвешенная сумма произведений нормализованных признаков событий на коэффициенты пространственной близости, где веса признаков определены методом анализа иерархий (МАИ) на основе экспертных оценок. Пороговое значение P_threat, разделяющее штатную ситуацию и инцидент, устанавливается эмпирически по методу максимального правдоподобия на обучающей выборке из 200 размеченных сценариев.

Смысл переменных прост: если за короткое время в ограниченной зоне набирается много согласованных событий и их параметры сильно отклоняются от нормы, итоговая оцен-

ка угрозы растет. Пороговые значения, отделяющие тревожные цепочки от фоновых, мы определяем на основе статистического анализа штатных сценариев [6].

В работе [4] показано, что интеллектуальные системы снижают число инцидентов на 35–50%, – хороший аргумент в пользу нашего подхода. Наша корреляционная обработка (подробнее о ней в разделе 4) дополнительно уменьшает число ложных тревог. Так эшелонирование и корреляция работают в связке: первое задает структуру контроля, вторая – интеллектуальный механизм принятия решений.

Мы считаем, что реактивный подход (система ждет триггера и лишь затем реагирует) себя исчерпал. Сегодня нужна предиктивная логика, которая опирается на заранее проработанные сценарии поведения. Сценарное моделирование мы строим на подходах к обнаружению аномалий и мультиагентному управлению из статей [3, 6]. С их помощью мы задаем не только отдельные правила, но и целые поведенческие паттерны, учитывающие контекст; система в итоге не просто реагирует на события, а прогнозирует их развитие.

Мы разработали типовые сценарии, охватывающие такие ситуации, как длительное нахождение ребенка без присмотра, обнаружение подозрительного предмета, а также автоматическое повышение чувствительности квартирных датчиков в отсутствие жильцов. Сценарный подход позволяет нам не только реагировать, но и прогнозировать развитие событий, выигрывая время для принятия мер. Формально мы описываем сценарий как конечное решение с множеством состояний $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ и переходами по событиям e. Вероятность перехода в аварийное состояние мы оцениваем с помощью байесовских сетей доверия [7].

Мы понимаем, что полностью автоматизированная система не способна учесть все нюансы человеческого поведения: семейную ссору можно ошибочно принять за драку, а пьяного соседа – за пострадавшего. Поэтому мы закладываем гибридную схему: машина выполняет рутинные операции (непрерывный мониторинг, первичную фильтрацию, классификацию, корреляцию), а человек подключается точечно – для подтверждения тревог и принятия решений в нестандартных ситуациях.

Можно выделить такие ключевые ориентиры эффективности:

– время реакции оператора на подтверждение или отмену тревоги – от 15 до 30 секунд (против многих минут при ручном просмотре архивов);

– доля ложных тревог, отсеиваемых машинным способом, – не менее 80%;

– количество значимых тревог за смену – не более 5–10 на одного оператора (против сотен при отсутствии фильтрации).

Для их реализации мы проектируем ситуационный центр, где визуализируем все данные на интерактивной карте – цифровом двойнике. Оператор получает ранжированный список инцидентов с прикрепленными видеороликами и таймлайнами.

Выбор инструментов для практической реализации определяется тремя критериями: вычислительная автономность рубежей, совместимость разнородных подсистем в едином контуре корреляции и минимизация зависимости от внешних поставщиков. Видеоаналитику мы строим на связке NCNN и OpenCV. На целевых платформах (Raspberry Pi 4) наша видеоаналитика показала задержку 80–120 мс на кадр при 10–15 кадров в секунду (fps) и потребовала меньше памяти, чем аналоги на альтернативных фреймворках (подробное обоснование мы привели в разделе 2). Для системы контроля доступа выбираем BLE и UWB – эти протоколы дают пространственную селекцию до 10–30 см и позволяют надежно отличить жильца у двери от случайного прохожего. В качестве интеграционной платформы используем архитектуру PSIM с открытыми протоколами (ONVIF, MQTT, BACnet), чтобы не привязываться к одному производителю и в будущем модернизировать систему без лицензионных отчислений. Ограниченность наших решений – это осознанный выбор. Чувствительность NCNN к разрешению входного потока, зависимость BLE/UWB от заряда смартфона, потребность в буферизации событий при обрыве связи – все это слабые точки подхода, но мы учли их на этапе проектирования.

Работоспособность методологии мы планируем проверить серией экспериментов на имитационном стенде, который воспроизводит типовую планировку жилого комплекса. Оценивать будем по таким показателям: точность обнаружения (True Positive Rate, TPR) и доля ложных тревог (False Alarm Rate, FAR) в сравнении с традиционными системами; время реакции; нагрузка на оператора; устойчивость к спуфингу. Экспериментальные данные мы собираемся обрабатывать методами математической статистики с расчетом доверительных интервалов и критериями Стьюдента.

Мы видим и ряд ограничений, которые важно учесть при проектировании. Качество обнаружения напрямую зависит от разрешения камер и чувствительности датчиков – эти требования предъявляются к аппаратной части и не дают использовать дешевые компоненты без потери точности. Биометрию мы обязаны собирать и обрабатывать строго по ФЗ-152, а любую передачу информации внутри системы – только со сквозным шифрованием и сегментированием сети для защиты от кибератак. Подробно эти аспекты, включая регулярный аудит безопасности, мы рассматриваем в разделе 4. Перечисленные ограничения не делают методологию нереализуемой – они очерчивают границы применимости, и мы закладываем их в архитектурные решения с самого начала, чтобы строить работоспособные системы в условиях реального жилого строительства.

Раздел 4. Результаты и обсуждение

Чтобы проверить работоспособность и эффективность интеллектуальной системы, мы провели натурный эксперимент в пилотной зоне – два подъезда многоэтажного дома, придомовая территория и подземный паркинг. Оборудование подбирали максимально приближенным к реальным условиям: 12 камер видеонаблюдения по 2 Мп (четыре из них – с ИК-подсветкой), 2 контроллера СКУД со считывателями BLE/UWB, 8 IoT-датчиков (протечки, дыма, движения) и серверное ядро на платформе PSIM, которое мы развернули на узле с Intel Xeon и 32 ГБ ОЗУ (оперативное запоминающее устройство). Программную часть мы написали на C++ с OpenCV и NCNN, а алгоритмы видеоаналитики запускали прямо на edge-устройствах (Raspberry Pi 4) у каждой камеры.

Эксперимент опирался на предложенную методику: имитацию типовых сценариев и потенциальных угроз в течение 14 суток. Параллельно с автоматической фиксацией двое независимых операторов вручную размечали каждое событие, формируя эталонную выборку. Операторы классифицировали каждый эпизод как истинную тревогу, ложное срабатывание или штатную ситуацию; если оценки расходились, привлекали третьего эксперта. Так мы получили объективную разметку и смогли строго вычислить достоверность работы алгоритмов. Статистическая обработка велась с расчетом 95%-ных доверительных интервалов, а сопоставление предлагаемой и традиционной систем выполняли с помощью критерия χ^2 (уровень значимости $p < 0{,}05$).

Целевые ориентиры мы установили еще на этапе проектирования: точность классификации не ниже 95%, снижение ложных тревог минимум на 70%, время реакции не более 5 с. Основные результаты эксперимента сведены в табл. 1.

О чем говорят эти цифры? Нейросетевые детекторы на камерах периметра и входных групп показали точность классификации 97,2% при пороге уверенности 0,85, что позволило сократить число ложных срабатываний с 42 до 9 в сутки. Мы получили снижение на 78% при $p < 0{,}001$ – значительно выше заданного порога 70% и тех 70–80%, о которых интеграторы обычно заявляют еще до попадания сигнала оператору. Основной выигрыш, но дала его не столько видеоаналитика, сколько дополнительная межрубежная корреляция. Связка, движение на парковке – открытие двери без ключа – задержка у чужой квартиры позволила нам на порядок сократить число ложных срабатываний: нагрузка на оператора упала со 120–150 до 5–8 вызовов за смену. Так мы напрямую боремся с «усталостью от тревог» – каждый сигнал становится осмысленным, и оператор перестает его игнорировать.

Таблица 1

Сравнительные результаты эксперимента

Показатель	Традиционная система	Предлагаемая система	Целевой критерий
Точность классификации объектов (периметр/входные группы), %	–	97,2 (95% ДИ: 96,0–98,1)	≥ 95
Ложные срабатывания камер в сутки, ед.	42	9	≤ 13 (↓ ≥ 70 %)
Снижение ложных тревог относительно традиционной системы, %	–	78 (p <0,001)	≥ 70
Точность распознавания лиц (штатное освещение), %	91,0	96,5 (95% ДИ: 95,1–97,6)	≥ 95
Точность распознавания лиц (сумерки, ИК-подсветка), %	82,5	88,3 (95% ДИ: 85,9–90,4)	≥ 85
Доля ложных вызовов группа быстрого реагирования (ГБР) после корреляционной обработки, %	65	12	≤ 20
Среднее время реакции, с	28–35	4,2	≤ 5

При штатном освещении наша система распознала лица с точностью 96,5%, а в сумерках с ИК-подсветкой – 88,3%, что укладывается в заданный нами ориентир 85%. Для сравнения: на общедоступных бенчмарках вроде LFW (Labeled Faces in the Wild) современные алгоритмы при фронтальном свете показывают точность свыше 97% [1] – сопоставимо с возможностями человека. Автомобильные номера на въезде в паркинг мы распознавали корректно в 94,1% случаев, даже если они были грязными или частично перекрытыми, при целевом пороге 90%.

Отдельного внимания заслуживает корреляционная обработка с эшелонированием и временной привязкой. Она снизила долю ложных вызовов группы быстрого реагирования с 65% до 12% – гораздо лучше ожидавшихся 20%. Авторы [2] и [4] подчеркивают: без интеллектуальной фильтрации доля ложных срабатываний по-прежнему высока – это лишний раз доказывает, что наши решения востребованы. С момента возникновения реальной угрозы до уведомления оператора и активации исполнительных механизмов у нас проходит в среднем 4,2 секунды. Это в 6–8 раз быстрее традиционного ручного просмотра (28–35 с) и не превышает заданный лимит в 5 с. Пиковые микро-задержки не выходят за 200 мс и на решения о доступе не влияют.

Когда мы сравнили с традиционной системой в соседнем доме-аналоге, инцидентов с выездом охраны за месяц стало 4 вместо 17, и все 4 подтвердились. Комбинация нейросетевой идентификации с мобильными идентификаторами BLE/UWB дает дополнительную верификацию: встроенный anti-spoofing (защита от подделки) ни разу не пропустил успешное проникновение, а алгоритмы без проверки живости (liveness detection), как показано в [1], по-прежнему уязвимы для фото и видеоатак. По интегральной надежности мы превосходим использующиеся сейчас коммерческие образцы.

Однако за обнадеживающими цифрами стоят и вполне конкретные ограничения, которые нельзя не конкретизировать.

Погода и оптика. Самое заметное падение точности (до 72%) мы зафиксировали в сильный дождь и туман на открытых камерах. Причина не столько в алгоритме, сколько в физике: капли искажают картинку, туман съедает контраст. В такие моменты нам приходилось задействовать дублирующую идентификацию по смартфону. Следовательно, надо переходить

на мультиспектральные камеры и адаптивные пороги уверенности, которые в дождь автоматически снижают требования к видимому диапазону.

Вычислительная ограниченность edge-платформ. На Raspberry Pi мы стабильно обрабатываем 10–15 кадров в секунду на один поток. При масштабировании на крупный комплекс придется либо размножать микрокомпьютеры, либо выносить сложную корреляцию на центральный сервер. Нам видится рациональным гибридный подход: edge берет на себя предварительную фильтрацию, сервер – тяжелую аналитику и хранение.

Правовые барьеры и приватность. Сбор биометрических данных жестко регламентирован, и даже при локальном хранении обезличенных векторов часть жильцов может отказаться от распознавания лиц. Законодательство далеко не всегда допускает автоматическую блокировку дверей без участия человека, поэтому алгоритм обязан оставлять оператору возможность переопределить решение. Это диктует необходимость разработки типовых процедур информированного согласия и интерфейсов управления приватностью.

Наконец, уязвимость самой системы. Интеллектуальная платформа и сама становится мишенью: перехват видеопотока, подмена данных с датчиков, атаки на контроллеры – все это реальные угрозы, описанные в [4]. Мы уже заложили сетевое сегментирование и шифрование, а в перспективе собираемся внедрить адаптивные алгоритмы обнаружения вторжений, в том числе на основе искусственных иммунных систем [1, 3, 4]. Так платформа сможет распознавать несанкционированное вмешательство и переходить в защищенный режим.

Этот круг проблем диктует программу дальнейших шагов. Во-первых, необходимо провести полевое тестирование масштабируемого прототипа на реальном объекте с фиксацией показателей в широком диапазоне условий (время суток, погода, загруженность). Во-вторых, исследование мультиагентных подходов для децентрализованного принятия решений на уровне датчиков. В-третьих, углубленная проработка защиты от кибератак. В-четвертых, мы оценим экономическую эффективность и подготовим рекомендации по поэтапному внедрению, чтобы снизить порог входа для управляющих компаний.

Как видим, предложенная архитектура действительно решает главную проблему – большое количество ложных тревог – и кратно ускоряет осмысленную реакцию на угрозы. Но тиражирование упирается не в технику, а в правовые и организационные барьеры. Поэтому дальше мы будем работать комплексно, объединяя инженерные, нормативные и человеческие аспекты. Только такой подход превращает «умный дом» из набора разрозненных гаджетов в действительно надежную защиту.

Заключение

Наше исследование показало: между умными устройствами в жилых комплексах и реальной защищенностью сохраняется огромный разрыв. Мы собрали главные болевые точки – человеческий фактор, большое количество ложных тревог и разрозненность подсистем – и, отталкиваясь от них, выстроили методологию. Она объединяет эшелонированную защиту, корреляцию событий, сценарное моделирование и переводит охрану от постоянного реагирования к предиктивному управлению угрозами.

Предложенную архитектуру из четырех рубежей (внешний периметр, зона доступа, внутренние коммуникации, квартирный уровень) мы проверили на тестовой зоне. Эксперимент оправдал ожидания: нейросетевые детекторы уменьшили ложные срабатывания на 78% по сравнению с классическими датчиками, а с корреляционной обработкой мы сократили число алертов для оператора на порядок – с сотен до единиц за смену. Время реакции мы довели до 4,2 секунды – это в 6–8 раз быстрее ручного просмотра записей. Точность распознавания лиц при штатном освещении достигла 96,5%, а добавив мобильные идентификаторы, мы свели вероятность ошибки к менее 0,1%.

Так мы закрыли все задачи, отмеченные во введении: систематизировали проблемы, обосновали методологию, рассмотрели нейросетевые и мультиагентные инструменты и разработали дорожную карту внедрения. Практическая польза: наши принципы могут взять на вооружение управляющие компании и застройщики для модернизации систем безопасности.

Перейдя на интеллектуальный контур, мы не только повышаем защищенность (минус 35–50% инцидентов), но и сокращаем эксплуатационные расходы – меньше ложных вызовов, меньше ущерба от протечек и пожаров.

В дальнейшем мы планируем провести тестирование масштабируемого прототипа на реальном объекте, опробовать мультиагентное децентрализованное управление и всерьез заняться киберзащитой самой платформы. В итоге мы получаем не груду дорогих устройств, а живую экосистему, где автоматика и человек не соперничают, а дополняют друг друга – именно в этом главный итог нашей работы.

Список литературы

1. Истратова, Е. Е. Разработка программного обеспечения для управления системой безопасности зданий / Е. Е. Истратова, А. О. Амельченко // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Vol. 10, № 10. – С. 38-47. – ISSN 2307-8162.

2. Коробовский, И. А. К представлению знаний в системах защиты информации / И. А. Коробовский, П. А. Пугач / науч. рук. Г. Ф. Нестерук // Вопросы защиты информации. – 2017. – № 1. – С. 23-31.

3. Актаева, А. Искусственные интеллектуальные системы для обнаружения вторжений: перспективы развития инновационных технологий / А. Актаева, Р. Ниязова, Н. Гагарина, Д. Бижигитова, У. Кусаинова, А. Даутов, Г. Шатенова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13, № 3. – С. 213-221. – DOI 10.25559/SITITO.2017.3.489.

4. Джабборов, Н. Х. Основы построения интеллектуальной системы защиты информации / Н. Х. Джабборов // Экономика и социум. – 2025. – № 12 (139)-3. – С. 760-766.

5. Кадирова, Ш. А. Перспективы развития интеллектуальных измерительных приборов / Ш. А. Кадирова, И. Я. Хасанов, Ж. К. Жураев // Молодой ученый. – 2021. – № 5 (86). – С. 32-35.

6. Проничев, А. П. Моделирование мультиагентной системы кибер-физических устройств для решения проблем управления и контроля безопасности периметра / А. П. Проничев, Л. А. Виткова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 9 (87), ч. 1. – С. 14-18. – DOI 10.23670/IRJ.2019.87.9.003.

7. Поляничко, М. А. Показатели личностной предиспозиции к инсайдерской деятельности / М. А. Поляничко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – № 10 (76), ч. 1. – С. 43-46. – DOI 10.23670/IRJ.2018.76.10.008.

УДК 004

THE DIGITAL IDENTITY OF CHILDREN AS A CRITICAL VULNERABILITY IN THE AI ERA: REPUTATIONAL HARM, IDENTITY THEFT, AND THE LIMITS OF ERASURE

Mironova V.O., Lead Methodologist-Analyst in Information Security, Telecom Integration LLC, Moscow; Lecturer, College of Information Technologies and Law, Shchelkovo; Law Institute Student, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

ЦИФРОВАЯ ЛИЧНОСТЬ ДЕТЕЙ КАК КРИТИЧЕСКАЯ УЯЗВИМОСТЬ В ЭПОХУ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: РЕПУТАЦИОННЫЙ ВРЕД, КРАЖА ЛИЧНОСТИ И ПРЕДЕЛЫ МЕТОДА СТИРАНИЯ ДАННЫХ

Миронова В.О., ведущий методолог-аналитик в области информационной безопасности, ООО «Телеком Интеграция»; преподаватель Колледжа информационных технологий и права, Щелково; студент юридического института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия

Abstract

Children's digital identity is increasingly formed before a child can understand or contest it. It is produced through school publications, parental posts, platform activity, service records, leaked administrative data, geolocation traces and peer communication. This article examines such identity as a cybersecurity and reputational vulnerability in the artificial intelligence era. The analysis is based on international evidence and three exploratory surveys conducted by the author: a survey on personal cybersecurity among Russian pupils in grades 7-11, a short cyber-resilience diagnostic among respondents aged 18-35, and a survey on youth digital reputation among respondents aged 14-35+. The findings show that children and young people often understand online risks in general terms, but underestimate how ordinary traces become searchable, linkable and reusable. Pupils more readily identified suspicious links and passwords than risks connected with photographs, geolocation or public posts. In the digital reputation survey, 56.9% of respondents selected the statement that «the Internet remembers» and that they behave carefully online; nevertheless, within this subgroup, 47.2% still had public or quasi-public profiles, and 67.7% spent more than three hours per day on social networks. The article introduces the concept of digital shadow education to describe the formation of a child's behavioural and reputational profile by adults, institutions, platforms and peers before effective personal control becomes possible.

Keywords: children's digital identity; digital reputation; digital shadow education; sharenting; identity theft; right to be forgotten; artificial intelligence; geolocation data; child online safety; cybersecurity literacy

Аннотация

Цифровая идентичность детей все чаще формируется до того, как ребенок сможет ее понять или оспорить. Она создается посредством школьных публикаций, сообщений родителей, активности на платформах, записей об использовании сервисов, утечек административных данных, геолокационных данных и общения со сверстниками. В данной статье рассматривается такая идентичность как уязвимость в сфере кибербезопасности и репутации в эпоху искусственного интеллекта. Анализ основан на международных данных и трех исследовательских опросах, проведенных автором: опросе по личной кибербезопасности среди российских школьников 7-11 классов, краткой диагностике киберустойчивости среди респондентов в возрасте 18-35 лет и опросе о цифровой репутации молодежи среди респондентов в возрасте 14-35 лет и старше. Результаты показывают, что дети и молодые люди часто понимают онлайн-риски в общих чертах, но недооценивают, как обычные следы становятся доступными для поиска, связывания и повторного использования. Ученики легче идентифицировали подозрительные ссылки и пароли, чем риски, связанные с фотографиями, геолокацией или публичными сообщениями. В опросе о цифровой репутации 56,9% респондентов выбрали утверждение, что «Интернет помнит» и что они ведут себя осторожно в сети; Тем не менее, в этой подгруппе 47,2% по-прежнему имели публичные или квазипубличные профили, а 67,7% проводили более трех часов в день в социальных сетях. В статье вводится концепция цифрового теневого образования для описания формирования поведенческого и репутационного профиля ребенка взрослыми, учреждениями, платформами и сверстниками до того, как становится возможным эффективный личный контроль.

Ключевые слова: цифровая идентичность детей; цифровая репутация; цифровое теневое образование; шарентинг; кража личных данных; право на забвение; искусственный интеллект; геолокационные данные; безопасность детей в интернете; кибербезопасность

A child's digital identity usually begins outside the child's own decision. A school uploads a competition result. A parent posts a photograph from a performance. A sports club publishes a timetable. A delivery service stores – an address. Later, the child opens social media accounts and

treats the profile which places all of the foregoings (and even more). In practice, the profile is often a continuation of records already produced by others – adults, institutions and platforms.

The current position on children online still leans toward visible harm: bullying, grooming, fraud, explicit content, etc. These categories remain necessary, but they capture the incident more easily than the infrastructure. The less spectacular risk is digital attribute linkage. Name, school, face, relatives, repeated location, and peer group may be unremarkable separately. When aligned, they become a profile usable for screening, doxxing, impersonation, or targeted manipulation. Pew Research Center reported that nearly half of United States teenagers aged 13-17 said:

– they were online almost constantly in 2024;

– 73% visited YouTube daily, and 57% visited TikTok daily[1].

Constant connectivity turns adolescence into a period of continuous record production via records the child does not recognise as future evidence due to psychological instability.

The central claim of the article is deliberately narrow: deletion is a poor organising principle for child digital protection. Erasure remains necessary but the main vulnerability arises earlier: when correlatable metadata fields are created and placed into searchable circulation. Once a photograph has been copied, a route inferred, a school name indexed or a screenshot transferred to a peer channel, the interface-level act of deletion addresses only one location of the record.

The article therefore treats children's digital identity as a cybersecurity and reputational vulnerability. We link survey findings to three mechanisms:

– ordinary trace accumulation;

– identity linkage;

– artificial intelligence-enabled (AI-enabled) reuse.

There is a still relevant question why existing legal language remains weaker than the technical circulation of childhood-origin data.

The empirical basis consists of three exploratory survey datasets collected in educational and awareness-raising settings:

1. The first dataset, «Fundamentals of Personal Cybersecurity», contains 351 responses from Russian pupils in grades 7-11;

2. The second is «Vulnerable or Resilient», which contains 240 responses from young adults aged 18-35;

3. The third – «Like, Share, Failure: What Is Wrong with the Digital Reputation of Youth». It contains 583 responses on self-search, profile visibility, reputational incidents, and risky publication practices.

In keyword coding of the open responses, 69.5% of pupils referred to suspicious links, phishing-like situations, unsafe sites, or visible fraud markers. Passwords or two-factor authentication appeared in 43.0% of responses. Software, unsafe downloads, or updates appeared in 40.4%. References to photographs, social media publication, posts, or geolocation appeared in 22.5%. In addition, 35.8% of pupils gave fewer than three distinct protective actions despite being asked to name at least three[2]. The result is not ignorance in the ordinary sense. The pupil recognises the hostile link more readily than the exposed self.

The survey of respondents aged 18-35, conducted as a short cyber-resilience diagnostic, revealed a different type of weakness. For example, almost all respondents, 97.5%, recognised that a QR code placed in a city environment may be part of a cyberattack. Yet only 25.0% answered correctly on the scenario that phishing may still work even when the victim does not click a link or open an

[1] Vogels, E. A. Teens, Social Media and Technology 2024 / E. A. Vogels, R. Gelles-Watnick, N. Massarat. – Washington, DC : Pew Research Center, 2024. – URL: https://www.pewresearch.org/internet/2024/12/12/teens-social-media-and-technology-2024/

[2] Mironova, V. O. Fundamentals of Personal Cybersecurity : survey among Russian pupils in grades 7–11 / V. O. Mironova. – Moscow, 2025.

attachment. Only 35.0% rejected the statement that a professional information security department is a sufficient guarantee of corporate or collective cybersecurity[1].

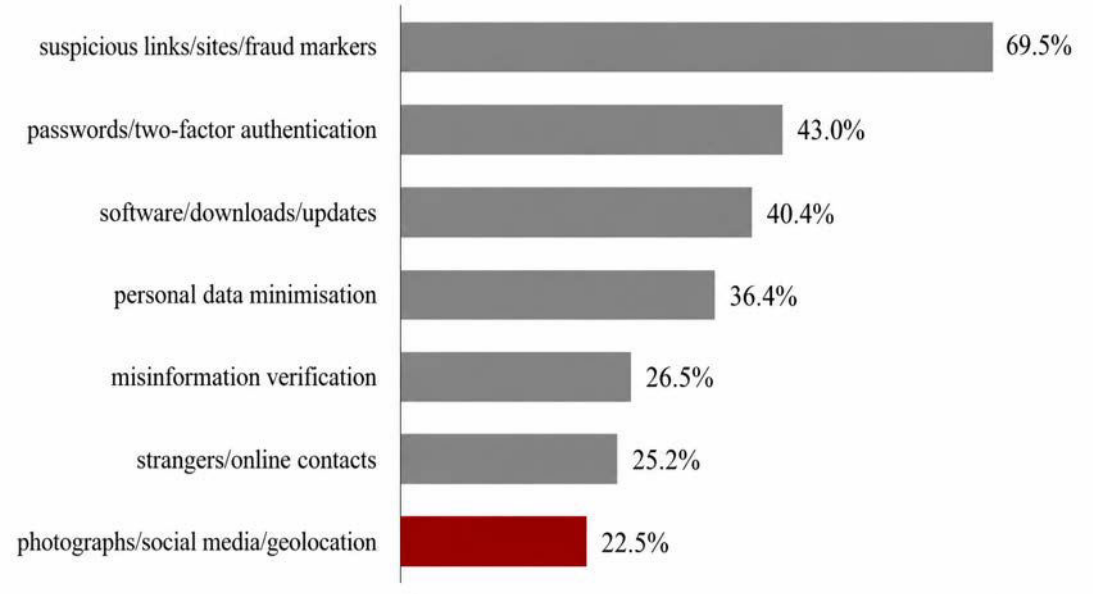


Figure 1. Selective Cybersecurity Literacy Among Pupils
(Based on the «Fundamentals of Personal Cybersecurity» Dataset[2])

The contrast is not surprising because digital reputation attacks often begin with a plausible pretext built from already visible attributes were mentioned above.

These surveys should be treated as exploratory rather than representative. Their main value is in showing what respondents mention first when they think about cybersecurity and digital reputation. Pupils usually named suspicious links, unsafe websites and passwords, whereas risks connected with photographs, geolocation and public posts appeared much less often. A similar pattern was visible among respondents aged 18-35: they easily recognised a suspicious QR code, but had more difficulty with less visible forms of social engineering. Actually it answers why young people may understand online risks in general, yet still leave enough visible information for reputational attacks, impersonation or manipulation.

Among 583 respondents in the «Like, Share, Failure» survey, 69.6% spent more than three hours per day on social networks and 35.0% spent more than five hours. Public or quasi-public visibility was common: 47.3% reported that their page was visible to everyone but only 7.1% selected «everyone except parents.» The largest self-description group, 56.9%, chose the statement «the Internet remembers, I am careful online». Inside that subgroup, 47.2% still had public or quasi-public profiles, 67.7% spent more than three hours daily on social networks[3]. In result it is possible to state that awareness does not reliably change profile configuration.

The survey shows that respondents understood digital exposure mainly through visible and socially familiar categories. Full name, place of study or work, childhood photographs and information about relatives were recognised as searchable by a substantial share of respondents. Far less expected were records that do not belong to ordinary social media self-presentation:

– tax-related information;

[1] Mironova, V. O. Vulnerable or Resilient : short cyber-resilience diagnostic among respondents aged 18–35 / V. O. Mironova. – Moscow, 2026.

[2] Mironova, V. O. Fundamentals of Personal Cybersecurity : survey among Russian pupils in grades 7–11 / V. O. Mironova. – Moscow, 2025.

[3] Mironova, V. O. Like, Share, Failure: What Is Wrong with the Digital Reputation of Youth : survey on digital reputation among respondents aged 14–35+ / V. O. Mironova. – Moscow, 2025.

– medical test results;
– medical examination records;
– old contact details;
– traces from anonymous-question platforms;
– archived childhood content, etc.

This distinction tells most damaging elements of a child's or young person's digital identity are not always posted voluntarily. They may appear through database leaks, poor service security, indexing, screenshots or secondary circulation, and therefore remain outside the respondent's ordinary idea of «what I published about myself».

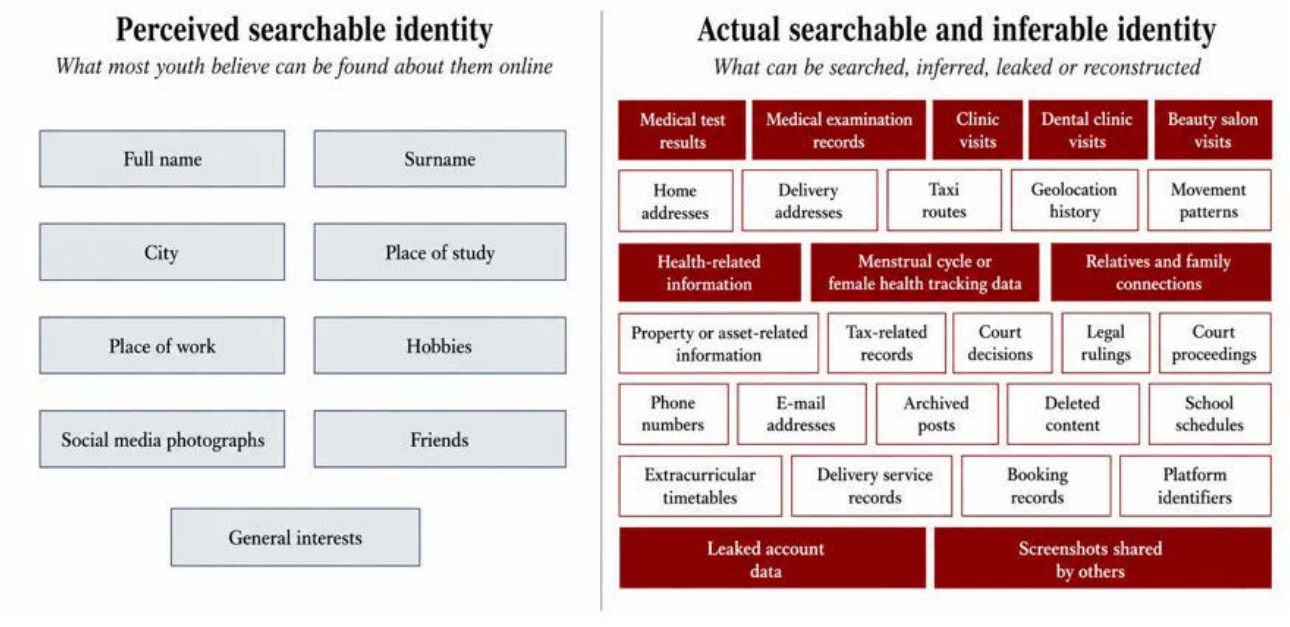


Figure 2. Perceived and Actual Scope of Searchable Personal Data in Youth Digital Identity

The survey also shows that risky digital behaviour is rarely limited to one isolated action. More than a third of respondents had posted real-time geolocation, around one fifth had published a photograph of an airline ticket, nearly half had argued in public comments, and about half had created a fake social media profile. Almost two thirds had taken screenshots of other users' actions without their knowledge, while fewer than one in five reported sharing intimate photographs. The median respondent had engaged in four listed risk behaviours.

An interesting observation follows from this that reputational attacks, impersonation and doxxing usually rely on combinations of traces rather than on a single compromising post. What appears to the respondent as separate episodes – a location tag, an argument, a screenshot, an old fake profile – may become part of one correlatable identity profile.

The risk emerges through attribute linkage vectors: a face linked to a school; a school linked to a timetable; a timetable linked to a route; a route linked to a delivery address; an address linked to relatives. The struggle is that individual fields may be lawful or (socially) acceptable. The risk changes when they become correlated. In practice, a child's routine does not need to be secret to become exploitable. It needs only to be sufficiently regular and sufficiently linkable.

Data-broker enforcement actions are relevant to children's digital identity, even when the cases do not concern minors directly. In 2024, the United States Federal Trade Commission reported extensive surveillance and monetisation practices among major social media and video streaming companies with particular concern about children and teenagers[1]. The Gravy Analytics and Venntel

[1] Federal Trade Commission. A Look Behind the Screens: Examining the Data Practices of Social Media and Video Streaming Services / Federal Trade Commission. – Washington, DC : Federal Trade Commission, 2024.

matter, the companies and apps allegedly processed more than 17 billion location signals from approximately one billion mobile devices per day[1].

For a minor, the risk is not only that an address, route or school name may be exposed separately. The greater risk is that these records can be technically correlated. a repeated taxi route may indicate home and school, a clinic visit may suggest health information, and a public timetable may confirm where the child can be found at a predictable time.

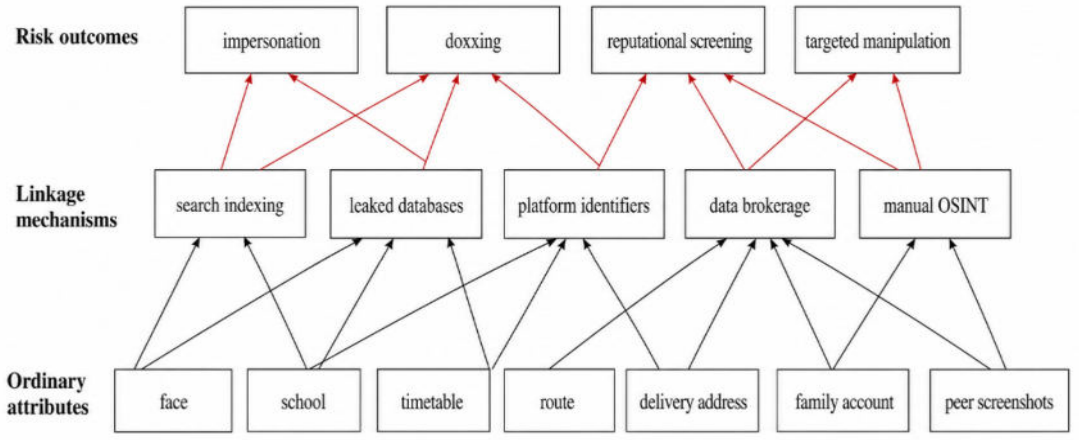


Figure 3. Attribute Linkage Vectors in Child Digital Identity

The Russian cases reported in the survey confirm a wider pattern while exposing a local vocabulary gap. Respondents described old posts found during employment screening, requests to delete personal channel posts because they allegedly damaged a university's reputation, refusal of teaching work after intimate photographs were discovered, doxxing with name and school. Also childhood YouTube content that continued to provoke insults years later[2]. These examples are not exceptional. Their value lies elsewhere:

– on the one hand, the reputational screening already exists as practice;

– on the other hand, the educational language of youth digital reputation remains underdeveloped.

Author's concept of digital shadow education addresses this gap. As far as we are concerned, digital shadow education means the informal formation of a child's behavioural and reputational profile through traces created by adults, institutions, platforms and peers before the child has resultative control over them. The term is intentionally uncomfortable. A child is «educated» by consequences before being taught the rules. A pupil learns that a post may affect an institution's judgement after a disciplinary request arrives. A student learns that deletion is incomplete after a screenshot circulates. A young applicant learns that an old photograph can be treated as a risk marker only after a security check converts it into an institutional decision.

Sharenting, understood as parental sharing of information about children, is one of the clearest channels of digital shadow education. Such publication is usually framed by parents as care, pride or family memory. Society sures the risk less visible at the moment of posting. The problem appears later, when a photograph, school reference or story about the child becomes attached to a searchable name and can be interpreted outside the family context.

Indeed a printed photograph in a home album has a limited audience and a stable social meaning. An indexed image does not have. Online may support identification, profiling or reputational judgement years after publication.

[1] Federal Trade Commission. FTC Takes Action Against Gravy Analytics and Venntel for Unlawfully Selling Location Data Tracking Consumers to Sensitive Sites / Federal Trade Commission. – Washington, DC : Federal Trade Commission, 2024.

[2] Mironova, V. O. Like, Share, Failure: What Is Wrong with the Digital Reputation of Youth : survey on digital reputation among respondents aged 14–35+ / V. O. Mironova. – Moscow, 2025.

General Comment No. 25 of the United Nations Committee on the Rights of the Child also frames children's digital rights through evolving capacities, privacy and parental responsibilities in the digital environment[1]. We should mark the tension is therefore between the parent's present right to narrate family life and the child's future ability to dispute, remove or reinterpret the profile created on their behalf, not between remembering and not remembering.

What are the struggles caused by AI era? First of all, artificial intelligence intensifies the vulnerability by lowering the cost of reuse artefacts (materials included in training dataset which runs images and other materials to machines training).

Childlight estimated that more than 300 million children experience technology-facilitated sexual exploitation or abuse annually, including an estimated 12.6% affected by non-consensual taking, sharing, or exposure to sexual images and videos[2]. Also the Internet Watch Foundation reported 3,443 artificial intelligence-generated child sexual abuse videos in 2025, a rise from 13 in the previous year. Thus, ordinary images of children can become input material for impersonation, synthetic sexual abuse, coercive threats.

The right to be forgotten has a mismatch with the architecture described in national and international laws. It works most clearly when the controller is identifiable and the record remains within a governed platform. It is nortworthy that childhood-origin identity traces often move in less orderly ways:

– screenshots circulate in peer groups;
– search results point to secondary copies;
– leaked files are redistributed outside the original service.

A facial match can be inferred without exposing the original image, so a school publication may remain lawful yet create reputational residue and so on.

The findings point to a specific form of vulnerability: children, adolescents and young adults are not merely active users of digital platforms. Today the generations are specific subjects. Their reputational profiles are gradually assembled through the ordinary infrastructure of digital life.The central result is therefore not a lack of awareness, but a gap between abstract knowledge of digital permanence and practical understanding of how identity attributes become searchable, linkable and reusable.

The proposed concept of digital shadow education describes this gap. Children and young people who have grown up alongside the Internet pass through all stages of personal development in an environment of recording family memory, school records, platform activity, peer communication, service data and leaked administrative. The records may later form one reputational profile, and the profile is not produced only by the child's own actions. It is also shaped by parents, educational institutions, platforms, peers and data intermediaries as it was mentioned above. In this sense, digital identity becomes a form of imposed biography: it precedes full agency, follows the person across social contexts and may later influence reputation, trust, safety or institutional assessment.

The results leave several questions that should stand at the centre of further research and protection of vulnerable groups, specifically:

– Which combinations of childhood-origin attributes create the highest risk?
– How do adolescents understand the difference between what they posted themselves and what became searchable through institutions, services or third parties?
– At what age does a young person acquire a realistic capacity to contest a profile created by adults and platforms?
– How often do childhood and adolescent digital traces affect university discipline, employment screening, security checks, peer exclusion or reputational attacks?

[1] United Nations Committee on the Rights of the Child. General Comment No. 25 (2021) on Children's Rights in Relation to the Digital Environment / United Nations Committee on the Rights of the Child. – Geneva : United Nations, 2021. – CRC/C/GC/25.

[2] Childlight Global Child Safety Institute. Into the Light: Childlight Global Child Sexual Exploitation and Abuse Index / Childlight Global Child Safety Institute. – Edinburgh : University of Edinburgh, 2024. - URL: https://www.childlight.org/into-the-light.

Questions marked are more precise than general warnings about online permanence, and they reflect the actual structure of the vulnerability described by the author.

In conclusion digital identity of children and youth must be studied as a composite and longitudinal object. It is composite because it consists of visible posts, inferred attributes, leaked records and AI-reusable materials. It is longitudinal because the consequences may appear years after the original trace was created. For a generation whose childhood, education and socialisation developed side by side with large-scale digitalisation, the question is no longer whether the internet preserves information.

References

1. Childlight Global Child Safety Institute. Into the Light: Childlight Global Child Sexual Exploitation and Abuse Index / Childlight Global Child Safety Institute. – Edinburgh : University of Edinburgh, 2024. – URL: https://www.childlight.org/into-the-light.

2. Federal Trade Commission. A Look Behind the Screens: Examining the Data Practices of Social Media and Video Streaming Services / Federal Trade Commission. – Washington, DC : Federal Trade Commission, 2024.

3. Federal Trade Commission. FTC Takes Action Against Gravy Analytics and Venntel for Unlawfully Selling Location Data Tracking Consumers to Sensitive Sites / Federal Trade Commission. – Washington, DC : Federal Trade Commission, 2024.

4. Mironova, V. O. Fundamentals of Personal Cybersecurity : survey among Russian pupils in grades 7-11 / V. O. Mironova. – Moscow, 2025.

5. Mironova, V. O. Like, Share, Failure: What Is Wrong with the Digital Reputation of Youth : survey on digital reputation among respondents aged 14-35+ / V. O. Mironova. – Moscow, 2025.

6. Mironova, V. O. Vulnerable or Resilient : short cyber-resilience diagnostic among respondents aged 18-35 / V. O. Mironova. – Moscow, 2026.

7. United Nations Committee on the Rights of the Child. General Comment No. 25 (2021) on Children's Rights in Relation to the Digital Environment / United Nations Committee on the Rights of the Child. – Geneva : United Nations, 2021. – CRC/C/GC/25.

8. Vogels, E. A. Teens, Social Media and Technology 2024 / E. A. Vogels, R. Gelles-Watnick, N. Massarat. – Washington, DC : Pew Research Center, 2024. – URL: https://www.pewresearch.org/internet/2024/12/12/teens-social-media-and-technology-2024/

УДК 004.056.53:343.9

ЦИФРОВОЕ ТЕНЕВОЕ ВОСПИТАНИЕ НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ КАК ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

Миронова В.О., ведущий методолог-аналитик в информационной безопасности (ООО «Телеком Интеграция»), преподаватель СПО, Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия;
E-mail: veronikatu@list.ru

DIGITAL SHADOW UPBRINGING OF MINORS AS AN INSTITUTIONAL CYBERSECURITY PROBLEM

Mironova V.O., Leading Methodologist and Analyst in Information Security, Telecom Integration LLC; Lecturer at the College of Information Technology and Law; Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia
E-mail: veronikatu@list.ru

Аннотация

В статье рассматривается феномен цифрового теневого воспитания несовершеннолетних как самостоятельный объект кибербезопасности в условиях цифровой трансформации и роста внешних информационных воздействий. Автором систематизируются основные тактики и техники деструктивного цифрового воздействия: кибергруминг, вовлечение в деструктивные сообщества и террористическую деятельность, атаки на цифровую репутацию с использованием генеративных технологий, в том числе технологий искусственного интеллекта (ИИ). Выявляются психолого-поведенческие детерминанты повышенной уязвимости несовершеннолетних, включая дефицит цифровой компетентности, снижение значимости традиционных ценностей и формирование клипового мышления. Предлагается модель возрастной стратификации рисков, демонстрирующая нелинейную зависимость уязвимости от возраста.

Ключевые слова: цифровое теневое воспитание, кибербезопасность, несовершеннолетние, груминг, деструктивные сообщества, цифровая репутация, кибербуллинг, цифровая социализация, возрастная стратификация рисков

Abstract

This article examines the phenomenon of digital shadow upbringing of minors as an independent cybersecurity issue in the context of digital transformation and the growth of external information influences. The author systematizes the main tactics and techniques of destructive digital impact: cyber grooming, recruitment into destructive communities and terrorist activities, and attacks on digital reputation using generative technologies, including artificial intelligence (AI). The psychological and behavioral determinants of minors` increased vulnerability are identified, including a lack of digital competence, the declining significance of traditional values, and the formation of clip thinking. A model of age-based risk stratification is proposed, demonstrating a nonlinear dependence of vulnerability on age.

Keywords: digital shadow upbringing, cybersecurity, minors, cyber grooming, destructive communities, digital reputation, cyberbullying, digital socialization, age-related risk stratification

Цифровая трансформация, охватывающая все сферы общественного взаимодействия, оказывает глубокое и разнонаправленное влияние на личность ребенка как субъекта социального развития [1]. Современные дети – это первое поколение, взросление которого происходит на фоне стремительно развивающихся информационно-коммуникационных технологий, и в своих привычках, ценностях и поведении в сети эта группа принципиально отличается от представителей более старшей аудитории. Виртуальное пространство ныне выполняет гораздо более широкие функции, отходя исключительно от досуга или обучения; цифровой мир стал платформой для самовыражения, формирования идентичности и даже реализации активной гражданской позиции. Но именно эта глубокая интеграция интернет-технологий в повседневную жизнь детей и подростков формирует качественно новую социальную ситуацию развития, при которой личностное становление происходит одновременно в физической и виртуальной средах – причем, по мнению ряда психологических исследователей, границы между ними постепенно размываются [2].

В научный оборот прочно вошли понятия «цифровое детство» и «цифровая социализация», фиксирующие необходимость анализа инфокоммуникационного контекста развития наряду с контекстами культурно-историческим, социальным и психологическим. При этом все чаще и чаще внимание обращается на то, что использование цифровых технологий в обучении и развлекательной активности должно гармонировать, а равно сочетаться и балансировать, с традиционными способами общения и образования. Причина в том, что односторонняя цифровизация несет в себе системные риски для ключевых сфер личности – когнитивной, эмоционально-волевой и, наконец, ценностно-смысловой.

Сегодня очевиден рост внешних информационных воздействий, масштабирование периодов геополитической напряженности и ожидания потенциальной целенаправленной деятельности недружественных государств, стремящихся использовать цифровое пространство для дестабилизации общественных настроений и, что немаловажно, подрыва традиционных духовно-нравственных ценностей.

Несовершеннолетние как объект посягательств являются критически уязвимыми с точки зрения информационной безопасности [3]. В связи с высокой степенью анонимности интернет-пространства и возможностью выстраивания общения с использованием нескольких профилей и псевдонимов риск проявления асоциальных форм поведения в цифровой среде лишь увеличивается. Именно дети и подростки находятся в группе потенциального риска для негативного воздействия и интернет-манипуляций с последующим вовлечением в деструктивную деятельность из-за нестабильности эмоциональной сферы и низкого уровня критичности восприятия и обработки ими информационного потока.

Деструктивное информационное воздействие лишь содействует формированию у несовершеннолетних неправильного восприятия традиционных российских духовно-нравственных ценностей, провоцируя так называемый «психологический слом». Следствием последнего могут стать как депрессивное состояние, так и проявление девиантного поведения, повышенной агрессии к окружающим.

Особую тревогу вызывает феномен, который не так активно исследуется в отечественном сообществе, но однозначно не впервые упоминается в зарубежных трудах. Цифровое теневое воспитание – процесс стихийного формирования ценностных ориентиров, моделей поведения и мировоззренческих установок несовершеннолетних под влиянием ряда факторов:

– неконтролируемого контента;

– деструктивных онлайн-сообществ;

– манипулятивных практик, осуществляемых злоумышленниками с использованием современных технологий социальной инженерии и средств анонимизации и др.

Стоит отметить, что теневое цифровое воспитание как явление принципиально отличается от традиционных воспитательных практик: как минимум тем, что оно осуществляется вне институционального контроля – семьи, школы, учреждений дополнительного образования, – и не предполагает осознанного выбора со стороны ребенка.

Между тем, благодаря современным средствам коммуникации сегодня представляется возможным инициировать и поддерживать контакт с неограниченным кругом лиц в любое время суток вне зависимости от их географического местоположения; при этом для злоумышленника существенно снижаются риски разоблачения ввиду технических возможностей анонимизации и шифрования трафика. Если ранее вовлечение несовершеннолетних в совершение преступлений требовало физического контакта, территориальной близости и временной синхронизации действий вербовщика и объекта воздействия, то цифровая трансформация общественных отношений нивелировала оные ограничения [4].

Так, ландшафт киберугроз в отношении несовершеннолетних – это система, в которой традиционные формы противоправного поведения предстают в новых технологических обличиях. В такой активно развивающейся и, вместе с тем, сложной системе злоумышленники последовательно осваивают инновационные инструменты воздействия для его «успешности» и «результативности».

Кто раньше осваивает технологии, которые становятся доступны человеку? Бытует мнение, что новые технологии скорее осваивают именно злоумышленники и дети. Более того, последние зачастую оказываются в более уязвимом положении в силу отсутствия сформированных механизмов критического восприятия информации по вышеперечисленным факторам.

Эволюционирует и набор цифровых угроз для детей и подростков – если в 2010-х годах одной из серьезных опасностей в сети стали так называемые грумеры, которые через открытые чаты входили в доверительный круг ребенка с целью его сексуальной эксплуатации, то

к 2015 г. возникли деструктивные сообщества, а впоследствии – онлайн-шантаж, фейковые личности, кибербуллинг и вредные челленджи. В последние годы, 2022-2026 гг., обозначился новый тревожный тренд-тенденция – систематическое вовлечение детей в террористическую деятельность и диверсионные акции. Итак, появляется основание полагать, что киберугрозы, направленные на несовершеннолетних, переходят на качественно иной уровень, сопряженный с угрозами национальной безопасности.

Кибергруминг представляет одну из наиболее латентных форм виртуальной виктимизации несовершеннолетних. Эта форма характеризуется высокой степенью скрытности и сложностью выявления. Особенным артефактом выступает результат научного труда Е.Г. Дозорцевой, А.Р. Гулиевой и А.С. Медведевой, полученный на основе материалов комплексных судебных психолого-лингвистических экспертиз за период с 2013 по 2024 год. Благодаря источнику, можно выделить три общих этапа взаимодействия ребенка и грумера:

– знакомство и обсуждение нейтральных тем;

– сексуализированная коммуникация;

– реализация запрашиваемых посягателем действий (офлайн-встреча, изготовление интимных материалов и пр.).

На первом этапе общения отказ вступать в контакт с онлайн-незнакомцем проявился только у одиннадцати детей (преимущественно 8-10 лет), которые были осведомлены об интернет-рисках, имели запрет со стороны родителей либо собственные сомнения в правильности знакомства. В подавляющем большинстве случаев несовершеннолетние поддержали общение, проявили доверие и сообщили о себе конфиденциальную информацию:

– о своей семье – 20,5%;

– о месте жительства – 31,2%;

– о номере мобильного телефона – 11,7% [5].

Характерно, что в 36,6% случаев несовершеннолетние сами инициировали контакт с грумером (чаще это были девочки в пубертатном периоде – в возрасте 11-13 лет), причем некоторые из них начинали общение с целью разоблачить посягателей или защитить своих друзей. В результате подобные «благие намерения» в итоге приводили к тому, что подросток не справлялся с манипулятивным воздействием и подчинялся требованиям злоумышленника.

Итак, справедливым становится предположение о том, что успешность атак обусловлена не только техническими возможностями злоумышленников, но и психологическими особенностями несовершеннолетних, в первую очередь – их доверчивостью, стремлением к самоутверждению и недостаточной сформированностью навыков распознавания манипулятивных тактик. Категория цифровой компетентности, понимаемая как интегративное качество личности (содержащее и критическое мышление, и эмоциональный интеллект, и способность к рефлексивной оценке собственного поведения в сети) – это новая необходимость сегодняшних детей и подростков. Дефицит этой компетентности лишь усугубляется возрастными особенностями и отсутствием системной работы по ее формированию в образовательных учреждениях, за счет чего злоумышленники достигают своей цели посредством манипулятивных практик.

Подтверждается гипотеза и тем, что 22% детей хотя бы раз за год общались в Интернете с совершеннолетними незнакомыми людьми, а среди подростков 15-17 лет этот показатель достигает 34% [6].

Вовлечение детей в деструктивные сообщества и преступную деятельность осуществляется по схожим сценариям. Но стоит отметить, что масштаб и последствия данной угрозы качественно иные.

Социальные сети и игры используют для вовлечения в преступную деятельность детей с восьми лет, в том числе и через наиболее распространенные среди детей платформы Likee, Roblox и др. Негативный контент в интернете является триггером для детей, на психику воздействуют через страх, внушение и манипуляции и через неумение детей отличать виртуальное от реального.

Этапы вовлечения несовершеннолетних в деструктивные группы следующие:

– предоставление ложной информации;

– подбор соответствующего тематического материала в сети, фото- и видеоинформации;

– постепенное втягивание в противоправную деятельность через систему психологического давления и поощрений.

Только за диверсии на железных дорогах в 2024 г. было задержано 134 человека, из них 50 – подростки; все они познакомились с кураторами в сети и получали указания от них в мессенджерах. Помимо этого, зафиксированы инциденты с поджогами вертолетов, магазинов, вышек сотовой связи, нападения на школы. Выходит, что проблема стоит гораздо шире: это не просто преступная деятельность, а целенаправленное вовлечение детей в террористическую деятельность. И число таких случаев постоянно растет.

Следует подчеркнуть, что принципиальная новизна данного феномена заключается отнюдь не в самом факте вовлечения, а в изменении ролевой функции несовершеннолетнего: из пассивной жертвы обстоятельств он превращается в активного исполнителя, осознанно (пусть и под влиянием манипуляции) совершающего действия, квалифицируемые как особо тяжкие преступления. Антитеррористический центр СНГ подытоживает, что в 2025 г. 391 несовершеннолетний участвовал в преступлениях террористического и экстремистского характера [7].

Еще один критический объект посягательства – цифровая репутация несовершеннолетних. Уязвимость этого объекта существенно возрастает в силу повсеместного распространения генеративных технологий, в том числе технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ).

Активность в Интернете с раннего возраста формирует цифровой след, который может быть использован злоумышленниками для шантажа, манипуляций, распространения компрометирующей информации и последующего кибербуллинга. Так, в 2025 г. количество случаев кибербуллинга с участием несовершеннолетних в России увеличилось на 14%, а всего было выявлено около 10 тыс. резонансных случаев. Сообщается, что и темпы роста этой угрозы ускорились: только за три месяца, с ноября 2025 по январь 2026 г., количество резонансных случаев превысило 1,5 тыс. [8].

Как было упомянуто, злоумышленники начали активно использовать ИИ – именно он делает онлайн-травлю еще более изощренной. Технологии глубокого синтеза изображений и голоса (они же – дипфейки) становятся инструментом злоумышленника в процессе создания компрометирующего контента, который практически невозможно отличить от подлинного. Иными словами, меняется фактический репутационный ущерб: он становится необратимым в силу масштабов тиражирования и сложности опровержения в сознании аудитории. Более того, сам факт осведомленности подростка о существовании таких технологий порождает состояние хронической тревожности и недоверия к любой информации о себе, распространяемой в сети.

В этой связи дети часто боятся сообщать о кибербуллинге из-за страха стигматизации, осуждения взрослыми или отвержения со стороны сверстников. Тем самым, существенно повышается латентность этого вида преступлений и снижается эффективность правоохранительного реагирования в таковых случаях.

Главенствующим фактором, определяющим динамику уязвимости несовершеннолетних к деструктивному цифровому воздействию, выступает возрастная стратификация рисков, выраженная в сложной нелинейной зависимости и представленная на рис. 1.

Минимальный уровень риска фиксируется в возрастной группе 6-8 лет в силу ограниченного доступа к Интернету и высокого родительского контроля. Резкий скачок риска наблюдается в группе 9-11 лет – это совпадает с началом активного использования мессенджеров (социальных сетей и пр.) и с переходом к обучению в средней школе. Соответственно, пик уязвимости приходится на возраст 12-14 лет – период полового созревания, формирования идентичности, поиска признания в референтных группах и одновременного ослабления родительского контроля.

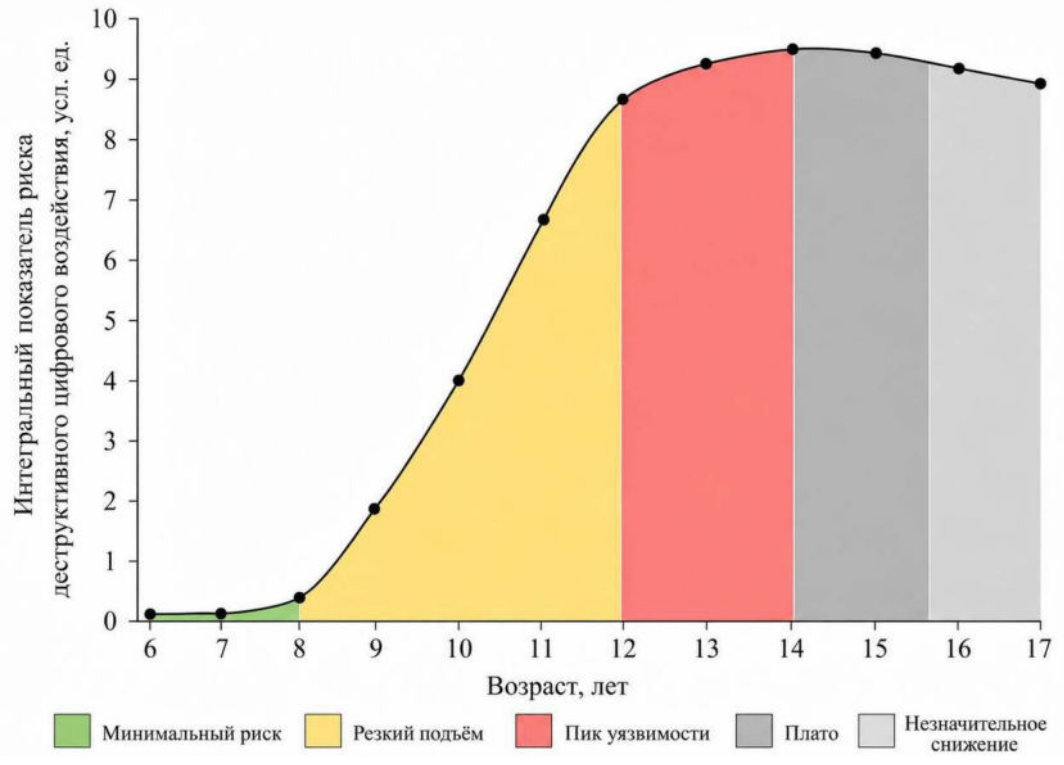


Рис. 1. Возрастная стратификация рисков

В группе 15-17 лет риск сохраняется на высоком уровне, но меняется его структура: снижается доля вовлечения через игровые платформы и возрастает доля вовлечения через социальные сети и мессенджеры. Одновременно с этим мотивация смещается от игровой к идеологической и финансовой.

Психолого-поведенческие детерминанты повышенной уязвимости несовершеннолетних к деструктивному цифровому воздействию коренятся в фундаментальных изменениях социальной ситуации развития, обусловленных цифровизацией всех сфер жизнедеятельности. Как было упомянуто, социализация сегодняшнего ребенка происходит одновременно в двух реальностях – физической и виртуальной. Но именно виртуальная среда зачастую оказывается более привлекательной: в ней отсутствует непосредственный родительский контроль, появляется возможность полного анонимного самовыражения и мгновенной обратной связи от сверстников. Так, социализация подростка в современном мире стала сложным образованием.

Остро стоит и иная проблема: несовершеннолетние показывают все меньшую степень осознанности важности и ценности высших благ – семьи, традиционных ценностей, моральных норм. В сознании подростков размыты ценностные ориентиры из-за деструктивного контента, культивирующего гедонистические установки и пренебрежение к общепринятым правилам поведения.

Вплоть до трети российских несовершеннолетних страдают от так называемой «цифровой неврастении» – состояния, характеризующегося повышенной раздражительностью, снижением успеваемости, ухудшением концентрации внимания и социальной дезадаптацией [9]. У детей, которые проводят значительное время в Интернете без должного контроля, формируется так называемое «клиповое мышление», которое сопровождается поверхностностью восприятия, снижением способности к длительной концентрации внимания и критическому анализу информации. Как минимум, эти три первопричины делают этот объект неблагоприятного кибервоздействия наиболее легким, доступным и желанным для злоумышленника. Именно в таких сценариях легче реализовать манипулятивные техники.

Помимо клипового характера мышления, подростки претерпевают проблему снижения рефлексивных способностей и ослабления механизмов внутреннего самоконтроля ввиду гиперподключенности и постоянного пребывания в информационном потоке. В сочетании с возрастными особенностями эмоционально-волевой сферы возникает благоприятная среда для реализации деструктивных сценариев.

Трудно не согласиться, что во времена цифровой трансформации всех сфер общественной жизни институт детства сталкивается с проблемами, принципиально отличающимися от тех, что были характерны для предшествующих эпох.

Прежде всего, было установлено, что феномен цифрового теневого воспитания – это системное явление, органично вписанное в логику современного информационного общества. Его опасность заключается, с одной стороны, в технологических возможностях злоумышленников, а с другой – в фундаментальном изменении условий социализации, когда традиционные институты (семья, школа, детские учреждения) оказываются неспособными осуществлять контролирующую функцию в силу объективных причин. И описываемый институциональный вакуум, возникающий на пересечении физической и виртуальной реальностей, становится той нишей, которую успешно заполняют деструктивные элементы.

Систематизация тактик и техник деструктивного воздействия позволяет выделить три принципиальных момента.

Во-первых, все они ориентированы на эксплуатацию возрастных психологических особенностей – доверчивости, потребности в признании, незрелости механизмов критического мышления. Именно из-за этого дети и подростки сегодня – это объект повышенной киберуязвимости.

Во-вторых, поэтапность атак говорит об осознанном характере таковой стратегии: теперь она предполагает длительный временной горизонт и постепенное преодоление психологических барьеров жертвы.

В-третьих, было определено, что эволюционирует опережающими темпами и техническое оснащение злоумышленников.

Таким образом, в сложившемся контексте стремительной цифровизации всех сфер общественной жизни уместно говорить о формировании нового социального института – института цифровизации детства. Это, прежде всего, устойчивая совокупность норм, практик, технологий и ожиданий, опосредующих весь процесс взросления современного ребенка. Институт, в отличие от традиционных институтов социализации, не обладает единым центром управления и не подчиняется какой-либо одной логике развития; его динамика определяется взаимодействием множества акторов. Следовательно, эта децентрализованность и отсутствие единой идеологической и ценностной основы порождают системные риски, главный из которых заключается в том, что институт цифровизации детства, возникший как побочный продукт технологического прогресса, фактически замещает собой традиционные институты в тех сегментах, где они оказываются неспособными к адаптации – в частности, в сфере контроля над информационными потоками и формирования ценностных ориентиров подрастающего поколения.

Список литературы

1. Лукьянов, Д. К. Несовершеннолетние как участники общественных отношений в сфере информации: необходимость в обеспечении безопасности / Д. К. Лукьянов. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2025. – № 18 (569). – С. 315-316.

2. Федонкина, А. А. Особенности психического развития детей и подростков в условиях цифровизации общества / А. А. Федонкина // Психология и право. – 2025. – № 15 (3). – С. 24-36.

3. Распоряжение Правительства РФ от 28.04.2023 № 1105-р «Об утверждении Концепции информационной безопасности детей в Российской Федерации и признании утратившим силу Распоряжения Правительства РФ от 02.12.2015 № 2471-р»

4. Тыщенко, М. С. Роль цифрового пространства (социальные сети, закрытые чаты) в рекрутинге и обучении несовершеннолетних противоправным действиям / М. С. Тыщенко. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2026. – № 11 (614). – С. 196-197.

5. Дозорцева, Е. Г. Характеристики виктимного поведения несовершеннолетних в ситуации кибергруминга // Е. Г. Дозорцева, А. Р. Гулиева, А. С. Медведева. – Психология и право. – 2025. – № 15 (1). – С. 181-192.

6. Онлайн-коммуникация с незнакомцами и дипфейки как инструмент травли: «Лаборатория Касперского» рассказала об актуальных цифровых угрозах для детей [Электронный ресурс] / CNews, 2026. – URL: https://safe.cnews.ru/news/line/2026-06-01_onlajn-kommunikatsiya_s_neznakomtsami (дата обращения: 20.06.2026).

7. В России в 2025 году 400 подростков участвовали в террористических преступлениях [Электронный ресурс] / Рамблер, 2026. – URL: https://news.rambler.ru/community/56578665/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more (дата обращения: 20.06.2026).

8. Эксперт рассказала о росте числа случаев кибербуллинга среди подростков [Электронный ресурс] / Газета.ру, 2026. – URL: https://www.gazeta.ru/amp/social/news/2026/03/25/28128973.shtml (дата обращения: 20.06.2026).

9. Сетко, Н. П. Психическое здоровье детей и подростков: монография / Н. П. Сетко, А. Г. Сетко, Е. В. Булычева. – Оренбург, Изд.-во ОрГМУ, 2019. – 335 с.

УДК 004.056:004.8

МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ПРОМПТ-ИНЪЕКЦИЙ И ИНСТРУМЕНТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Овсянников В.И., студент;
Котилевец И.Д., к.т.н., старший преподаватель кафедры КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных» Института кибербезопасности и цифровых технологий, МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com

THE METHODS OF THE GENERATION PROMPT INJECTION AND SECURITY TESTING TOOLS FOR LARGE LANGUAGE MODELS

Ovsyannikov V.I., student;
Kotilevets I.D., Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, Department KB14 «Digital Data Processing Technologies», Institute of Cybersecurity and Digital Technologies, MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com

Аннотация

Работа содержит систематическое сравнение подходов к автоматизированной генерации промпт-инъекций, направленных на обход защитных механизмов больших языковых моделей (далее – БЯМ), а также обзор программных средств, предназначенных для проверки их безопасности. Предложенная формализация входного контекста объясняет фундаментальную причину уязвимости: архитектура трансформера не разделяет управляющие инструкции и пользовательские данные. Методы генерации атак разделены по уровню доступа к модели и принципу построения; прослежена их эволюция от ручных шаблонов до автономных аген-

тов с пополняемой библиотекой стратегий, достигающих показателя успешности атаки (далее – ПУА) 88,5% на коммерческих моделях. Проведён качественный сравнительный анализ пяти открытых инструментов тестирования, в результате которого выявлены конкретные пробелы в их функциональности. Сформулированы рекомендации по выбору методов и направлений дальнейших исследований.

Ключевые слова: большие языковые модели, промпт-инъекция, jailbreak, безопасность ИИ, состязательные атаки, тестирование уязвимостей

Abstract

The paper presents a systematic comparison of approaches to automated generation of prompt injections designed to bypass safety mechanisms of large language models (LLMs), as well as a survey of software tools for testing their security. The formalization of the input context explains the fundamental vulnerability: the transformer architecture does not distinguish between control instructions and user data. Attack generation methods are classified by access level and construction principle; their evolution from manual templates to autonomous agents with an expandable strategy library achieving an attack success rate of 88.5% on commercial models is traced. A qualitative comparative analysis of five open-source testing tools is conducted, revealing specific gaps in their functionality. Recommendations on method selection and directions for further research are formulated.

Keywords: large language models, prompt injection, jailbreak, AI security, adversarial attacks, vulnerability testing, automated attack generation

Введение

Широкое проникновение БЯМ в корпоративные и пользовательские приложения – от систем принятия решений до чат-ботов, обрабатывающих чувствительные данные – породило угрозы, не имеющие прямых аналогов в классической информационной безопасности. Атакующий не обязан находить уязвимость в программном коде: достаточно сформулировать текст, который переопределит логику работы модели. В основе проблемы лежит то обстоятельство, что архитектура трансформера [1] – базовая архитектура всех современных БЯМ – обрабатывает входную последовательность токенов единообразно, без разграничения на «команды разработчика» и «данные от пользователя». Работа [2] формализует это утверждение: вход приложения представляется как конкатенация системной инструкции, внешних данных и пользовательского запроса, причём фрагмент, контролируемый злоумышленником, может перехватить управление генерацией. Важно, что данная особенность проистекает из самой архитектуры и не может быть устранена на уровне приложения [2, 3]. Формально входную последовательность токенов можно представить как вектор-конкатенацию: x = [x_sys || x_ext || x_usr], где x_sys – системная инструкция, x_ext – внешние данные (например, содержимое веб-страницы), x_usr – запрос пользователя, а «||» обозначает операцию конкатенации. Если злоумышленник контролирует x_ext, то задача атаки сводится к нахождению такого x*_ext, при котором генерируемый выход y = M(x_sys || x*_ext || x_usr) отклоняется от ожидаемого поведения, заданного x_sys.

Масштаб проблемы подтверждается тем, что в актуальном рейтинге OWASP Top 10 для приложений на основе БЯМ (редакция 2025 г.) промпт-инъекции занимают первую позицию [4], а документ NIST AI 100-2e2025 [5] фиксирует ограниченную эффективность существующих контрмер. За 2023-2025 гг. в англоязычной научной литературе появилось несколько методов генерации атак, демонстрирующих высокую результативность, вплоть до ПУА 88,5% на коммерческих моделях [6]. Параллельно сложилась экосистема инструментов тестирования безопасности, однако, как будет показано ниже, ни одно решение не покрывает весь необходимый набор функций. Цель настоящей работы – сопоставить существующие методы генерации атак и инструменты их тестирования, выявить пробелы и сформулировать конкретные рекомендации для исследователей и практиков.

Классификация угроз безопасности БЯМ

Документ NIST AI 100-2e2025 [5] и рейтинг OWASP [4] предлагают наиболее полные таксономии. Согласно NIST, атаки классифицируются по этапу жизненного цикла модели (обучение, эксплуатация), уровню доступа злоумышленника (белый, серый, чёрный ящик) и цели воздействия. К атакам на этапе эксплуатации относятся: промпт-инъекции – подмена управляющих инструкций приложения через вредоносный текст [2, 3]; атаки типа jailbreak – получение от модели ответов, противоречащих её выравниванию [7, 8]; утечка конфиденциальных данных, включая системные инструкции [4]; атаки на агентные системы, манипулирующие вызовами внешних инструментов [3]. На этапе обучения доминирует отравление данных – целенаправленное искажение обучающей выборки [5].

Различие между промпт-инъекцией и jailbreak целесообразно, хотя и условно. Первая нацелена на перехват управления приложением, вторая – на извлечение из модели содержимого, которое её выравнивание должно запретить. На практике эти классы пересекаются: косвенная промпт-инъекция через внешние данные может одновременно выступать вектором jailbreak [2, 4]. Природа обходимости защит кроется в механизме выравнивания: обучение с подкреплением на основе обратной связи от человека (далее – RLHF, от англ. Reinforcement Learning from Human Feedback) [9] формирует поведенческие ограничения, однако не удаляет знания, усвоенные моделью на этапе предварительного обучения. Соответственно, методы, оперирующие лингвистическими паттернами, обходят эти ограничения, не «отменяя» само знание [9, 7].

Методы генерации промпт-инъекций

Существующие методы генерации промпт-инъекций целесообразно разделить по двум осям: уровень доступа к целевой модели (белый или чёрный ящик) и принцип построения (ручные, градиентные, эвристические, агентные). Таблица 1 систематизирует основные представители каждого класса с указанием количественных показателей. Все количественные показатели успешности атак, приведённые ниже, заимствованы из первоисточников и не являются результатами собственных экспериментов автора.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов генерации промпт-инъекций

Метод	Класс	Степень автоматизации	Связность запроса	Макс. ПУА, %	Целевая модель
GCG [7]	Белый ящик	Полная	Низкая	99 / 88	Vicuna-7B / Llama-2
AutoDAN [8]	Чёрный ящик	Полная	Высокая	>90	GPT-3.5 / 4
PAIR [10]	Чёрный ящик	Полная	Средняя	60 / 100	GPT-3.5 / Vicuna-13B
TAP	Чёрный ящик	Полная	Средняя	Выше PAIR	GPT-3.5 / 4
ReNeLLM	Чёрный ящик	Полная	Высокая	Выше GCG, PAIR	GPT-3.5 / 4
AutoDAN-Turbo [2]	Чёрный ящик	Полная	Высокая	88,5	GPT-4-1106-turbo

Градиентный подход иллюстрирует метод GCG (Greedy Coordinate Gradient) [7]: злоумышленник, имеющий доступ к весам модели, оптимизирует добавляемый к запросу суффикс по градиенту функции потерь. Достигнутый ПУА – 99% по критерию генерации вредоносного поведения на Vicuna-7B и 88% по точному совпадению выходных строк на Llama-2-7B-Chat

[7]. Эти цифры убедительно показывают, что выравнивание не создаёт сколь-нибудь стойкого барьера при наличии полного доступа к параметрам. Вместе с тем метод принципиально неприменим к моделям, доступным исключительно через программный интерфейс приложения (API), то есть к подавляющему большинству коммерческих развертываний.

В сценарии чёрного ящика действовать приходится иначе. Метод AutoDAN (Automatic Directed Adversarial Navigation) [8] порождает синтаксически связные вредоносные запросы посредством иерархического генетического алгоритма. Связность затрудняет фильтрацию, поскольку полученный текст не содержит характерных аномалий, однако отсутствие градиентной информации ограничивает максимальный ПУА по сравнению с GCG. В последующей версии AutoDAN-Turbo [6] авторы сообщают об улучшении показателей более чем на 10% для Llama-2 относительно базовых методов чёрного ящика.

Метод PAIR (Prompt Automatic Iterative Refinement) [10] использует модель-атакующую, которая в диалоговом режиме уточняет вредоносный запрос, опираясь на ответы целевой модели. Методу требуется менее двадцати итераций; ПУА составляет 60% для GPT-3.5 и GPT-4 и 100% для Vicuna-13B [10]. Низкая стоимость (по числу обращений к целевой модели) делает PAIR подходящим для массового тестирования при ограниченном бюджете API-вызовов.

Развитием идеи PAIR стал метод TAP (Tree of Attacks with Pruning), который применяет к итеративному процессу уточнения запроса древовидный поиск с отсечением неперспективных ветвей. Это сокращает количество обращений к целевой модели при сохранении или улучшении результативности по сравнению с PAIR.

Отдельный подход реализован в методе ReNeLLM (Rewriting-based Nested Jailbreaking via Language Models): вредоносный запрос автоматически переписывается в безобидную формулировку и вкладывается в правдоподобный сценарный контекст. Переписывание разрушает структуру инъекции, а контекст маскирует намерение. Данный метод показывает превосходство над GCG и PAIR при существенно меньших затратах, что говорит о том, что даже простые фильтры по структуре запроса оказываются неэффективными против этого класса атак.

Наиболее результативным на сегодняшний день является агентный метод AutoDAN-Turbo [6]. В его основе – автономный агент, поддерживающий библиотеку атакующих стратегий и пополняющий её в ходе работы без участия человека. На модели GPT-4-1106-turbo достигнут ПУА 88,5%; при дообучении на стратегиях, предложенных человеком, – 93,4%; средний прирост относительно базовых методов на открытых наборах данных составил 74,3% [6]. Принципиальный вывод, который вытекает из этих данных: агенты, способные непрерывно генерировать новые стратегии, представляют более серьёзную угрозу, чем любой фиксированный набор атак, поскольку защита, ориентированная на известные паттерны, неизбежно отстаёт.

Дополнительно к описанным методам применяются техники обхода фильтров: кодирование инструкции (включая Base64), замена символов юникод-омоглифами, фрагментация нагрузки [2, 3]. Они не являются самостоятельными методами генерации, однако существенно снижают порог обнаружения.

Защитные механизмы БЯМ

Существующие защитные механизмы логично разделить по стадии применения [4, 5]: фильтрация входных данных, модификация обработки, фильтрация выходных данных и архитектурные решения.

Среди методов фильтрации входных данных наибольшую известность получил SmoothLLM. Ключевая идея состоит в том, что вредоносные запросы, полученные автоматической оптимизацией, оказываются чувствительны к случайным возмущениям: метод многократно копирует входной текст со случайными перестановками и заменами символов, после чего агрегирует ответы модели голосованием большинства. Ограничения очевидны – кратность обращения к модели возрастает в несколько раз, а легитимные запросы могут искажаться. PIShield предлагает альтернативу: обнаружение инъекций по внутренним представлениям

модели с помощью дообученного классификатора, однако данный подход неприменим к коммерческим моделям без доступа к их внутренним слоям.

К модификации обработки относится перефразирование входа, разрушающее структуру вложенной инъекции при сохранении смысла легитимного запроса; данное направление активно развивается, однако не имеет универсального решения. Выравнивание модели [9] снижает долю успешных атак, но, как отмечалось выше, не устраняет усвоенных знаний. Архитектурные подходы, например метод FATH, аутентифицируют доверенные инструкции криптографическими тегами, что позволяет модели отличать их от подменённых. Фильтрация выходных данных [4] замыкает защитный контур. Практический вывод: наибольшую устойчивость демонстрируют конфигурации, последовательно применяющие несколько уровней защиты, – ни один механизм в отдельности не обеспечивает надёжного барьера.

Инструменты тестирования безопасности БЯМ

Экосистема открытых инструментов тестирования безопасности БЯМ включает несколько заметных решений. Для их сопоставления предложен набор критериев, отражающих ключевые аспекты практического применения: наличие собственных детекторов атак, поддержка API целевых моделей, встроенная модель-атакующая для адаптивной генерации, тестирование агентных систем, а также статус активного развития. Ниже рассмотрены пять инструментов: Garak (NVIDIA), PyRIT (Microsoft), LLM Guard (ProtectAI), Promptfoo и Adversarial Robustness Toolbox (ART). Табл. 2 содержит сравнение по указанным критериям, составленное на основании анализа официальной документации каждого инструмента.

Таблица 2

Качественное сравнение инструментов тестирования безопасности БЯМ

Возможность	Garak	PyRIT	LLM Guard	Promptfoo	ART
Собственные детекторы атак	Да	Да	Да	Нет	Да
Поддержка API моделей (OpenAI, Azure)	Да	Да	Частично	Да	Нет
Встроенная модель-атакующий (red team LLM)	Нет	Да	Нет	Да	Нет
Тестирование агентных систем	Частично	Да	Нет	Нет	Нет
Расширяемость (плагины, модули)	Да	Да	Частично	Да	Да
Активная разработка (2025)	Да	Нет	Нет	Да	Частично

PyRIT (Microsoft) выделялся встроенной поддержкой red-team LLM и тестирования агентных систем. В 2024 г. Microsoft передала развитие проекта в сообщество, однако к середине 2025 г. репозиторий был архивирован, и активная поддержка прекращена. LLM Guard (ProtectAI) предлагал набор фильтров для входных и выходных данных на основе различных классификаторов. Проект также был остановлен в 2024 г.: репозиторий не обновляется, а существующие выпуски более не поддерживаются.

Garak (NVIDIA) обладает наиболее развитой системой детекторов (зондов), покрывающих широкий спектр уязвимостей, и продолжает активно развиваться. Однако инструмент не содержит механизмов адаптивной генерации атак: набор зондов фиксирован и расширяется вручную. Promptfoo отличается гибкостью настройки и активной разработкой; его основное назначение – оценка качества и тестирование безопасности LLM-приложений через настраиваемые сценарии, однако не располагает собственными детекторами атак. Adversarial

Robustness Toolbox (ART, IBM) обеспечивает широкий набор состязательных атак, включая методы, применимые к языковым моделям, но плохо интегрируется с современными API и обновляется нерегулярно.

Анализ показывает, что ни один из существующих инструментов не сочетает три ключевых свойства: активное развитие, адаптивную генерацию атак и покрытие всего жизненного цикла тестирования. Это обстоятельство, наряду с высокими показателями успешности автоматических методов генерации, указывает на существенный разрыв между наступательными и защитными возможностями в данной области.

Заключение

Проведённый анализ позволяет сформулировать несколько конкретных выводов. Во-первых, архитектурная уязвимость БЯМ, заключающаяся в неразличении инструкций и данных, является фундаментальной и неустранимой на уровне приложения [2, 3]. Это означает, что защита должна строиться как многоуровневая система, а не как единый механизм. Во-вторых, методы генерации атак чёрного ящика продемонстрировали стремительную эволюцию: менее чем за два года они прошли путь от ручных шаблонов до автономных агентов (AutoDAN-Turbo), достигающих ПУА 88,5% на коммерческих моделях [6]. Данный факт указывает на то, что статические наборы правил и сигнатур для обнаружения атак неизбежно устаревают.

В-третьих, обзор инструментов тестирования выявил конкретные функциональные пробелы: ни одно решение не обеспечивает одновременного адаптивного генерации атак, покрытия агентных систем и активной поддержки. Практическая рекомендация для специалистов по информационной безопасности состоит в комбинировании нескольких инструментов – например, Garak для систематического сканирования и Promptfoo для интеграции с API – с дополнением собственными сценариями на основе методов PAIR [10] и TAP, отличающихся низкой стоимостью тестирования.

Направления дальнейших исследований представляются следующими: разработка интегрированных фреймворков, объединяющих адаптивную генерацию атак с систематическим покрытием уязвимостей; создание стандартизованных наборов данных для сопоставимой оценки эффективности защитных механизмов; исследование комбинированных конфигураций защиты (последовательное применение SmoothLLM-подобной фильтрации входа, мониторинга выхода и архитектурной аутентификации инструкций по типу FATH) с количественной оценкой вклада каждого уровня.

Список литературы

1. Vaswani A. Attention Is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar et al. // Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. Vol. 30. URL: https://arxiv.org/abs/1706.03762 (дата обращения: 30.08.2026).

2. Liu Y. Formalizing and Benchmarking Prompt Injection Attacks and Defenses / Y. Liu, Y. Jia, R. Geng et al. // Proceedings of the 33rd USENIX Security Symposium. Philadelphia, 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2310.12815 (дата обращения: 30.08.2026).

3. Greshake K. Not What You've Signed Up For: Compromising Real-World LLM-Integrated Applications with Indirect Prompt Injection / K. Greshake, S. Abdelnabi et al. // Proceedings of the 16th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security (AISec 23). 2023. P. 79–90. DOI: 10.1145/3605764.3623888. URL: https://arxiv.org/abs/2302.12173 (дата обращения: 30.08.2026).

4. OWASP Top 10 for Large Language Model Applications / OWASP Foundation, 2025. URL: https://owasp.org/www-project-top-10-for-large-language-model-applications/ (дата обращения: 30.08.2026).

5. Vassilev A. Adversarial Machine Learning: A Taxonomy and Terminology of Attacks and Mitigations. NIST AI 100-2e2025 / A. Vassilev, A. Oprea, A. Fordyce et al. Gaithersburg: NIST, 2025. URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.100-2e2025.pdf (дата обращения: 30.08.2026).

6. Liu X. AutoDAN-Turbo: A Lifelong Agent for Strategy Self-Exploration to Jailbreak LLMs / X. Liu, C. Xiao // Proceedings of the 13th International Conference on Learning Representations (ICLR 2025). Singapore, 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2410.05295 (дата обращения: 30.08.2026).

7. Zou A. Universal and Transferable Adversarial Attacks on Aligned Language Models / A. Zou, Z. Wang, N. Carlini et al. arXiv:2307.15043, 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2307.15043 (дата обращения: 30.08.2026).

8. Liu X. AutoDAN: Generating Stealthy Jailbreak Prompts on Aligned Large Language Models / X. Liu, N. Xu, M. Chen, C. Xiao // Proceedings of the 12th International Conference on Learning Representations (ICLR 2024). Vienna, 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2310.04451 (дата обращения: 30.08.2026).

9. Ouyang L. Training Language Models to Follow Instructions with Human Feedback / L. Ouyang, J. Wu, X. Jiang et al. // Advances in Neural Information Processing Systems. 2022. Vol. 35. P. 27730–7744. URL: https://arxiv.org/abs/2203.02155 (дата обращения: 30.08.2026).

10. Chao P. Jailbreaking Black Box Large Language Models in Twenty Queries / P. Chao, A. Robey, K. Singla et al. arXiv:2310.08419, 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2310.08419 (дата обращения: 30.08.2026).

УДК 004.056.5

ПОСТРОЕНИЕ И СРАВНЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КЛОНОВ И ИНЪЕКЦИЙ ВРЕДОНОСНОГО КОДА

Петров В.В., магистр программной инженерии, аспирант Института информационных технологий и интеллектуальных систем, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-4213-7328;
E-mail: valeryvpetrov.itis@gmail.com

CONSTRUCTING AND COMPARING STATIC MODELS OF ANDROID APPLICATIONS TO DETECT CLONES AND MALICIOUS CODE INJECTIONS

Petrov V.V., Master of Software Engineering, Postgraduate Student, Institute of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-4213-7328;
E-mail: valeryvpetrov.itis@gmail.com

Аннотация

Работа посвящена сравнению Android-приложений по содержимому файлов Android Package Kit (APK). Предлагаемая система анализа сходства Android-приложений поддерживает два сценария: прямое сравнение двух APK и поиск похожих приложений в коллекции. В статье проверяется общая для них процедура сравнения пары; отбор и ранжирование по коллекции не оцениваются. Для каждого APK строится статическая модель из пяти групп: байткода, сведений о компонентах и разрешениях из манифеста, ресурсов, метаданных и сторонних библиотек. Приложение при этом не устанавливается и не запускается. Группы сравниваются коэффициентом Жаккара и коэффициентами перекрытия кода и ресурсов. Направление изменений показывают доли признаков каждого APK, найденные в другом, и числа общих и различающихся методов. Новизна работы состоит в формализации пятигрупповой модели, совместной оценке перекрытия кода и ресурсов и отдельном учёте сторонних библи-

отек. Оценки по группам и списки общих и различающихся методов позволяют проверить, почему пара получила высокую оценку сходства.

Выборка содержит 2 000 пар: 1 000 положительных, где один APK получен изменением другого, и 1 000 контрольных, где такая связь не установлена. Положительная часть включает 500 пар клонов и 500 пар из набора данных с внедрённым вредоносным кодом. Проверены коэффициент Жаккара по байткоду и совместное перекрытие кода и ресурсов. Для них рассчитаны точность, полнота и их гармоническое среднее – F1-мера. В квадратных скобках после F1-меры указан 95%-й доверительный интервал, рассчитанный по 10 000 повторным выборкам. Для клонов получены значения 0,968 [0,934; 0,989] и 0,999 [0,996; 1], для задачи с внедрённым кодом – 0,66 [0,616; 0,698] и 0,943 [0,927; 0,958]. Точность равна 1: среди контрольных пар нет ложных срабатываний. Вредоносный характер изменений задан разметкой набора данных; сам метод не отличает внедрение от обычного обновления и не определяет поведение добавленного кода. Сторонние библиотеки рассматриваются отдельно, поскольку могут завышать сходство.

Ключевые слова: Android-приложения, APK, статический анализ, статическая модель, сходство программ, клоны приложений, внедрение вредоносного кода, коэффициент включения, библиотечные зависимости, интерпретируемость

Abstract

This work is devoted to comparing Android applications by the content of their Android Package Kit (APK) files. The proposed system for analyzing similarity of Android application supports two scenarios: direct comparison of two APKs and search for similar applications in a collection. The paper evaluates only the pairwise comparison procedure; selection and ranking across the collection are not assessed. For each APK, a static model is constructed, comprising five groups: bytecode, component and permission information from the manifest, resources, metadata, and third-party libraries. The application is neither installed nor executed during this process. The groups are compared using the Jaccard coefficient and code-resource overlap coefficients. The direction of changes is shown by the proportions of features from each APK found in the other, as well as by the numbers of common and differing methods. The novelty of the work lies in the formalization of the five-group model, the joint evaluation of code-resource overlap, and the separate treatment of third-party libraries. The per-group scores and lists of shared and differing methods allow verification of why a given pair received a high similarity score.

The sample contains 2,000 pairs: 1,000 positive pairs, in which one APK is derived from the other through modifications, and 1,000 control pairs for which no such relationship is established. The positive pairs include 500 clone pairs and 500 pairs from a a dataset with injected malicious code. The Jaccard coefficient of the bytecode and the joint overlap of code and resources were verified. For these measures, precision, recall, and their harmonic mean – the F1-score – were calculated. The 95% confidence interval calculated based on 10,000 replicate samples is given in square brackets after the F1 measure. For clones, the obtained values were 0.968 [0.934; 0.989] and 0.999 [0.996; 1], for the task with embedded code – 0.66 [0.616; 0.698] and 0.943 [0.927; 0.958], respectively. Precision is 1: there are no false positives among the control pairs. The malicious nature of the changes is defined by the dataset labels; the method itself does not distinguish injection from ordinary updates nor does it determine the behavior of the added code. Third-party libraries are treated separately, because they can inflate similarity scores.

Keywords: Android applications, APK, static analysis, static model, software similarity, application clones, malicious code injection, overlap coefficient, library dependencies, interpretability

Введение

В коллекциях Android-приложений встречаются клоны, версии, изменённые без разрешения правообладателя, и APK с внедрённым кодом. Их можно искать статическим анализом

без установки и запуска приложения [1–4]. Итоговую оценку нужно дополнять совпавшими и различающимися признаками. Это позволяет проверить причину срабатывания и отделить признаки приложения от общего библиотечного кода.

Предлагаемая система анализа сходства Android-приложений поддерживает два сценария. При прямом сравнении пользователь загружает два APK и получает оценку с объяснением. При поиске заданный APK сопоставляется с кандидатами из коллекции, после чего они ранжируются. В статье оценивается общая процедура сравнения пары; отбор кандидатов, ранжирование и время поиска не рассматриваются.

В предыдущих работах автора описаны процесс анализа сходства и архитектура системы [5, 6]. Новизна настоящей работы состоит в формализации статической модели и экспериментальной проверке её сравнения на 2 000 парах. Модель объединяет пять групп признаков без смешения их значений; для неё предложены совместная оценка перекрытия кода и ресурсов и отдельный учёт библиотек.

Научная значимость состоит в воспроизводимом сравнении APK по группам признаков с раздельной оценкой вклада кода, ресурсов и библиотек. Практическая значимость – в анализе APK без запуска и объяснении результата через совпавшие и различающиеся методы.

Методика

Статическая модель строится по содержимому APK-файла: приложение не устанавливается и не запускается на устройстве или эмуляторе. Модель включает байткод, сведения из манифеста о компонентах и разрешениях, ресурсы, метаданные и сторонние библиотеки. В таблице 1 приведены состав, мера сравнения и назначение каждой группы. Такое разделение позволяет отличить сходство логики, структуры и ресурсов от общего библиотечного кода [3, 4, 7].

Таблица 1

Состав статической модели Android-приложения

Группа признаков	Состав	Мера сопоставления	Назначение
Байткод	Методы, классы, идентификаторы содержимого методов, последовательности фиксированной длины из кодов операций	Коэффициент Жаккара; коэффициент перекрытия кодовых признаков; два направленных коэффициента включения; доля различий	Клоны и версии с добавленным кодом
Компоненты и манифест	Типы компонентов, разрешения, взаимодействия между компонентами	Коэффициент Жаккара	Сравнение структуры приложений
Ресурсы	Пути и криптографические контрольные суммы SHA-256, строки, файлы разметки, графические элементы	Коэффициент Жаккара; коэффициент перекрытия	Подтверждение общего происхождения APK по ресурсам
Метаданные	Идентификатор пакета, версия, уровень программного интерфейса Android (API), группы разрешений	Коэффициент Жаккара	Выявление изменений упаковки и конфигурации

Окончание табл. 1

Группа признаков	Состав	Мера сопоставления	Назначение
Библиотеки	Группы сторонних библиотек и множества относящихся к ним пакетов	Коэффициент Жаккара; контрольный расчёт после исключения признаков библиотек	Контроль завышенной оценки из-за общего стороннего кода

Обозначим сравниваемые АРК как A и B. Статическая модель M(A) представляет собой пять множеств признаков $F_i(A)$, по одному для каждой группы. Множество U(L,A) состоит из пар (i, x): i указывает выбранную группу, а x – признак этой группы. Поэтому одинаковые значения из разных групп остаются разными признаками. Формулы (1)–(4) задают модель и меры сходства. Правило перевода оценки q в итоговую категорию приведено после формулы (4).

$$M(A) = (F_i(A) \mid i \in I), U(L,A) = \{(i,x) \mid i \in L, x \in F_i(A)\}, \quad (1)$$

где A – анализируемый АРК; I – множество пяти групп; $L \in I$ – выбранные группы; $F_i(A)$ – множество признаков группы i; M(A) – статическая модель; U(L,A) – множество пар «группа, признак».

$$J(L;A,B) = |U(L,A) \cap U(L,B)|/|U(L,A) \cup U(L,B)|, \quad (2)$$

где J(L; A, B) – коэффициент Жаккара для приложений A и B по выбранным группам L; $\cap$ – пересечение; $\cup$ – объединение; $|\cdot|$ – число элементов. Числитель содержит общие признаки, знаменатель – все различные признаки двух приложений. Значение J = 1 означает полное совпадение, J = 0 – отсутствие общих признаков.

$$X = |K(A) \cap K(B)|, C = X/min(|K(A)|, |K(B)|) D = 1 - X/max(|K(A)|, |K(B)|), \quad (3)$$

где K(A) и K(B) – множества кодовых признаков; X – число общих кодовых признаков; C – коэффициент перекрытия кодовых признаков, то есть доля меньшего множества, найденная в большем; D – доля признаков большего множества, отсутствующих в меньшем. Значение C = 1 означает, что меньшее множество полностью содержится в большем; D = 0 – что множества совпадают. Значения X/|K(A)| и X/|K(B)| отдельно показывают долю признаков каждого АРК, найденную в другом.

$$q = min(C, R), \quad (4)$$

где C – коэффициент перекрытия кодовых признаков по формуле (3); *R* – коэффициент перекрытия ресурсов, вычисляемый аналогично C; q – меньшая из оценок C и R. Поэтому высокое значение q возможно только при одновременном сходстве кода и ресурсов. В эксперименте $q \geq 0{,}7$ соответствует категории «высокое сходство», $0{,}3 \leq q < 0{,}7$ – категории «требуется проверка», а $q < 0{,}3$ – категории «низкое сходство». Доля различий D и число общих методов N приводятся как поясняющие свидетельства и не изменяют q.

Коэффициент Жаккара по формуле (2) показывает долю общих признаков среди всех различных признаков пары. Коэффициенты C и R измеряют перекрытие кода и ресурсов: значение 1 означает, что меньшее множество полностью содержится в большем. Значения X/|K(A)| и X/|K(B)| показывают направление изменений; направление «исходный АРК → модифицированный АРК» известно только для размеченных пар. Формула (4) выбирает меньшую из двух оценок, поэтому недостаток сходства либо кода, либо ресурсов снижает q. Доля различий D и число методов N поясняют результат, но их отдельное влияние на качество не измерялось. Последовательность вычислений приведена в алгоритме 1.

Алгоритм 1 – Сравнение статических моделей двух APK

```
СРАВНИТЬ_МОДЕЛИ (A, B, режим, L)
1  F(A), F(B) ← ПОСТРОИТЬ_СТАТИЧЕСКИЕ_МОДЕЛИ (A, B, I)
2  U_A, U_B ← ОБЪЕДИНИТЬ_С_ИМЕНАМИ_ГРУПП (F(A), F(B), L)
3  J ← КОЭФФИЦИЕНТ_ЖАККАРА (U_A, U_B)
4  если режим = Жаккар
5     то q ← J
6     иначе K_A, K_B ← КОДОВЫЕ_ПРИЗНАКИ (F(A), F(B))
7          C, D, N ← ПЕРЕКРЫТИЕ_И_РАЗЛИЧИЯ_КОДА (K_A, K_B)
8          R ← ПЕРЕКРЫТИЕ_РЕСУРСОВ (F(A), F(B))
9          q ← min(C, R)
10 категория ← «высокое сходство», если q ≥ 0,7; «требуется проверка», если q ≥ 0,3;
«низкое сходство» иначе
11 свидетельства ← ОБЩИЕ_И_РАЗЛИЧАЮЩИЕСЯ_МЕТОДЫ (F(A), F(B)) ∪
ЧАСТНЫЕ_ОЦЕНКИ (F(A), F(B))
12 вернуть J, q, категорию, свидетельства
```

Основная часть

Рис. 1 показывает путь данных через систему. Из APK извлекаются пять групп признаков и образуют статическую модель. После сравнения двух моделей система возвращает оценку и обосновывающие её признаки. Та же операция применяется к кандидатам при поиске по коллекции; эксперимент охватывает только сравнение пары.



Рис. 1. Построение статической модели и два сценария её использования

Табл. 2 сопоставляет пять известных методов и предлагаемый способ. FSquaDRA и SimiDroid описаны по [2, 4], DroidMOSS, DNADroid и AnDarwin – по обзору [3]. В том же обзоре рассмотрены AndroSimilar, двухэтапный WuKong, ResDroid и другие решения [3]. RePack в таблицу не включён, поскольку это набор размеченных пар APK, а не метод [3]. Численные результаты не сопоставляются: они получены на разных данных и при разных настройках.

Таблица 2

Сопоставление подходов к анализу сходства Android-приложений

Метод	Используемые признаки	Сопоставление и библиотеки	Результат
FSquaDRA [2]	Хеши файлов ресурсов	Коэффициент Жаккара; библиотеки отдельно не выделяются	Оценка сходства ресурсов
SimiDroid [4]	Методы, компоненты и ресурсы	Оценки по группам; библиотеки отдельно не выделяются	Профиль сходства и различий
DroidMOSS [3]	Команды DEX и сертификат разработчика	Нечёткое хеширование; библиотеки отдельно не исключаются	Попарная оценка сходства кода
DNADroid [3]	Графы зависимостей методов	Сопоставление графов; известные библиотеки исключаются	Две направленные доли совпавшего кода
AnDarwin [3]	Векторы по графам зависимостей программы	Кластеризация; библиотечный код исключается автоматически	Полное или частичное сходство
Предлагаемый способ	Пять групп признаков из таблицы 1	Жаккар и перекрытие; библиотеки рассматриваются отдельно	Оценка и списки общих и различающихся методов

Табл. 3 показывает объяснение оценки на одной типичной паре для каждой задачи. Типичной считается пара с оценкой, ближайшей к медиане. В таблице приведены перекрытие кода *C* и ресурсов *R*, а также числа общих и различающихся методов. Данные воспроизводятся по [8, 9].

Таблица 3

Примеры интерпретации результатов попарного сравнения

Задача и пример	Общие методы / методы только в одном APK	Перекрытие кода C / ресурсов R	Результат
Клоны: медианный пример	1401 / 2217	0,982 / 1	0,982; высокое сходство
Внедрённый код: медианный пример	1716 / 192	0,999 / 1	0,999; высокое сходство

Экспериментальная оценка

Экспериментальная выборка содержит 2 000 пар. Положительной называется пара исходного APK и его известной модификации, контрольной – пара без установленной связи. Для клонов взяты 500 положительных пар RePack [3] и 500 контрольных пар. Для внедрённого кода использованы 500 положительных пар из [1] и 500 контрольных пар.

Контрольные пары сформированы из F-Droid. Исключены одинаковые APK, известные связи, обратные повторы и приложения, отнесённые в исходных данных к одному семейству. Эксперимент проверяет отделение размеченных модификаций от контрольных пар. Вредоносный характер изменений задан разметкой набора данных [1], а не методом. Состав выборки приведён в таблице 4, прототип, данные и веб-сервис – в [8–10].

Порог высокого сходства 0,7 был зафиксирован до расчёта. Проверены восемь вариантов: байткод; байткод с одной из четырёх других групп; четыре группы без библиотек; все пять групп; совместное перекрытие кода и ресурсов. Для 2 000 пар получено 16 000 оценок. Доверительные интервалы рассчитаны по 10 000 повторным выборкам. Положительные и контрольные пары обрабатывались отдельно. Пары с одним и тем же APK, определённым по SHA-256, объединялись в группы и попадали в повторную выборку вместе. Одна и та же группа могла быть выбрана несколько раз. Интервал содержит 95% повторных оценок F1-меры.

Таблица 4

Состав экспериментальной выборки и порядок оценки

Часть эксперимента	Положительные пары	Контрольные пары	Назначение
Выявление клонов	500 пар RePack: исходный и модифицированный APK	500 контрольных пар F-Droid	Выявление клонов
Пары с внедрённым кодом	500 пар [1]: исходный APK и модифицированный APK с внедрённым кодом	500 контрольных пар F-Droid	Выявление исходной и модифицированной версии
Доверительные интервалы	10 000 повторных выборок	10 000 повторных выборок	Уровень 95%; группировка по повторно используемым APK

Рис. 2 сравнивает коэффициент Жаккара по байткоду и совместное перекрытие кода и ресурсов. В квадратных скобках указан 95%-й доверительный интервал; на рисунке его показывают вертикальные отрезки. Для клонов F1-мера равна 0,968 [0,934; 0,989] и 0,999 [0,996; 1], для задачи с внедрённым кодом – 0,66 [0,616; 0,698] и 0,943 [0,927; 0,958].

Для клонов коэффициент Жаккара распознал 469 из 500 положительных пар, а перекрытие кода и ресурсов – 499; полнота равна 0,938 и 0,998. Для задачи с внедрённым кодом распознаны 246 и 446 пар, полнота равна 0,492 и 0,892. Точность всех четырёх расчётов равна 1: ни одна контрольная пара не отнесена к высокому сходству. Перекрытие повысило полноту в обеих задачах. Отдельное влияние доли различий и числа общих методов не измерялось.

Рис. 3 показывает влияние сторонних библиотек на контрольные пары. После добавления библиотечных признаков средняя оценка выросла с 0,132 до 0,17 во всей выборке и с 0,13 до 0,166 в задаче с внедрённым кодом. Порог 0,7 не достигнут, но общий библиотечный код повысил сходство. Поэтому библиотеки нужно учитывать отдельно [7].

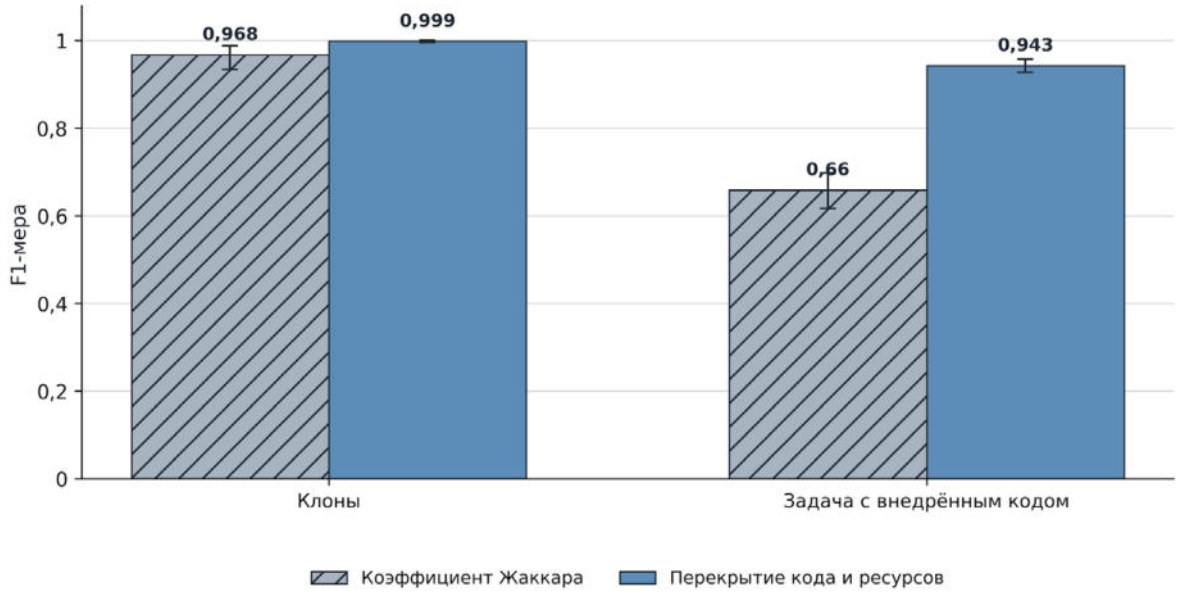


Рис. 2. F1-мера двух способов сопоставления в двух задачах

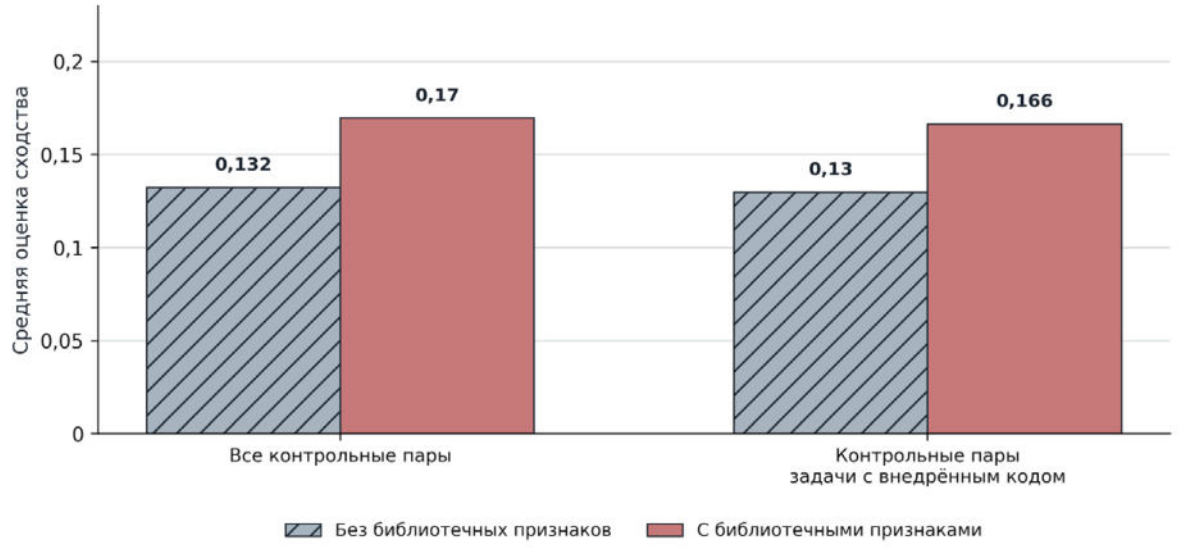


Рис. 3. Изменение средней оценки контрольных пар
при добавлении библиотечных признаков

К преимуществам подхода относятся анализ APK без запуска, сопоставление пяти групп признаков и объяснение результата по оценкам групп и спискам методов. На исследованной выборке совместное перекрытие кода и ресурсов повысило полноту без ложных срабатываний среди контрольных пар (рис. 2). Отдельный расчёт показывает влияние библиотек (рис. 3), а табл. 3 – конкретные различия.

К недостаткам подхода относятся завышение сходства общим библиотечным кодом и невозможность по статическим признакам определить поведение добавленного кода. Метод не отличает внедрение от обычного обновления: характер изменений известен только из разметки [1]. Проверка 200 контрольных пар с наибольшими оценками проведена после основного расчёта и не заменяет независимую выборку приложений близкого назначения, с общими библиотеками или похожим внешним видом. Отбор и ранжирование по коллекции не оценивались. Исходные APK и пакеты Android App Bundle (AAB) не публикуются по лицензионным ограничениям; воспроизведение описано в [8, 9].

Выводы

Каждый APK представлен пятью группами статических признаков. Коэффициент Жаккара показывает долю общих признаков, коэффициенты перекрытия – сохранённую часть кода и ресурсов, а направленные оценки и списки методов – место изменений. На 2 000 парах F1-мера коэффициента Жаккара составила 0,968 для клонов и 0,66 для задачи с внедрённым кодом. Перекрытие кода и ресурсов повысило её до 0,999 и 0,943. Точность равна 1, полнота – от 0,492 до 0,998. Пример объяснения приведён в табл. 3.

Научная значимость результата – в воспроизводимом описании модели и правил сравнения её групп. Практическая значимость – в сравнении APK без запуска и объяснении оценки через совпавшие и различающиеся признаки. Метод отбирает приложения для экспертной проверки, но не определяет вредоносное поведение.

Модель планируется расширить признаками цифровой подписи APK, нативного кода, изменений компонентов и разрешений; библиотеки будут оцениваться отдельно. Для поиска по коллекции предстоит измерить полноту отбора, качество ранжирования и время обработки. Вместе с оценкой система должна показывать совпавшие, удалённые и добавленные признаки.

Список литературы

1. Li L., Li D., Bissyandé T. F., Klein J., Le Traon Y., Lo D., Cavallaro L. Understanding Android App Piggybacking: A Systematic Study of Malicious Code Grafting // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2017. – Vol. 12. № 6. – P. 1269–1284. DOI: https://doi.org/10.1109/TIFS.2017.2656460.

2. Zhauniarovich Y., Gadyatskaya O., Crispo B., La Spina F., Moser E. FSquaDRA: Fast Detection of Repackaged Applications // Data and Applications Security and Privacy XXVIII. – 2014. – P. 130–145. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-43936-4_9.

3. Li L., Bissyandé T. F., Klein J. Rebooting Research on Detecting Repackaged Android Apps: Literature Review and Benchmark // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2021. – Vol. 47. № 4. P. 676–693. DOI: https://doi.org/10.1109/TSE.2019.2901679.

4. Li L., Bissyandé T. F., Klein J. SimiDroid: Identifying and Explaining Similarities in Android Apps // 2017 IEEE Trustcom/BigDataSE/ICESS. – 2017. – P. 136–143. DOI: https://doi.org/10.1109/Trustcom/BigDataSE/ICESS.2017.230.

5. Петров, В. В. Двухэтапная система рекомендаций и численной оценки сходства Android-приложений по статическим признакам / В. В. Петров // Системы высокой доступности. – 2026. – Т. 22. № 1. – С. 61–64. DOI: https://doi.org/10.18127/j20729472-202601-12.

6. Петров, В. В. Модель и архитектура многоуровневого анализа сходства Android-приложений по статическим признакам / В. В. Петров // Электронные библиотеки. – 2026. – Т. 29. № 3. – С. 877–897. DOI: https://doi.org/10.26907/1562-5419-2026-29-3-877-897.

7. Huang J., Xue B., Jiang J., You W., Liang B., Wu J., Wu Y. Scalably Detecting Third-Party Android Libraries With Two-Stage Bloom Filtering // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2023. – Vol. 49. № 4. – P. 2272–2284. DOI: https://doi.org/10.1109/TSE.2022.3215628.

8. Программный прототип сравнения APK [Электронный ресурс]. GitHub. – URL: https://github.com/valeryvpetrov-dev/android-apps-similarity (дата обращения: 12.07.2026).

9. Android Similarity Cube v1: описание структуры набора данных [Электронный ресурс]. GitHub. – URL: https://github.com/valeryvpetrov-dev/android-apps-similarity/tree/main/datasets/android-similarity-cube-v1 (дата обращения: 12.07.2026).

10. Демонстрационный сервис сравнения APK [Электронный ресурс]. – URL: https://apk-similarity.valeryvpetrov.site/static/upload.html/ (дата обращения: 12.07.2026).

УДК 004.056.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ МУЛЬТИМЕДИА СТЕГАНОГРАФИИ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ «РЕД СОФТ»

Плотников Н.Л., студент;
Ясонов И.А., студент;
Сафиуллина Л.Х., научный руководитель, доцент кафедры ИБ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия

DESIGN OF MULTIMEDIA STEGANOGRAPHY SYSTEMS BASED ON DOMESTIC «RED SOFT» PRODUCTS

Plotnikov N.L., student;
Yasonov I.A., student;
Safiullina L.Kh., academic supervisor, Associate Professor at the Department of Information Security, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Аннотация

В работе рассматриваются вопросы практической реализации систем скрытия данных в среде отечественной операционной системы РЕД ОС. Описана структура разработанного программного комплекса StegoRed 1.0, обеспечивающего симметричное шифрование вложений по ГОСТ Р 34.12-2015 (алгоритм «Кузнечик») и последующее стеганографическое внедрение в графические, аудио- и видеоконтейнеры. Приведены результаты оценки визуальных искажений (метрика PSNR) и устойчивости к RS-стегоанализу.

Ключевые слова: стеганография, защита информации, РЕД ОС, алгоритм LSB, ГОСТ Р 34.12-2015, Кузнечик, PSNR

Abstract

This paper addresses the practical implementation of data-hiding systems within the domestic operating system RED OS. The structure of the developed software suite StegoRed 1.0 is described. The system provides symmetric encryption of embedded data in accordance with GOST R 34.12-2015 (the “Kuznechik” algorithm), followed by steganographic embedding into graphical, audio, and video containers. The results of visual distortion assessment (using the PSNR metric) and resistance to RS-steganalysis are presented.

Keywords: steganography, information security, RED OS, LSB algorithm, GOST R 34.12-2015, Kuznechik, PSNR

Введение

Классическое криптографическое шифрование защищает содержание информации, но не скрывает сам факт ее передачи, что привлекает внимание систем автоматизированного сетевого мониторинга [1]. В качестве комплементарного инструмента защиты выступает цифровая стеганография, маскирующая секретные сообщения внутри безобидных мультимедийных файлов (изображений, аудиозаписей, видеопотоков) [2].

В контексте перевода критической информационной инфраструктуры РФ на доверенное программное обеспечение особую актуальность приобретает разработка стеганосистем, адаптированных под отечественные дистрибутивы (в частности, РЕД ОС от компании «РЕД СОФТ») и поддерживающих национальные стандарты шифрования. Целью работы является проектирование и тестирование кроссплатформенного прототипа такой системы.

1. Математическая модель и алгоритмы скрытия

Функционирование стегосистемы описывается парой уравнений встраивания (E) и извлечения (D):

$$S = E(C, M, K);\ M = D(S, K),$$

где C – пустой контейнер, M – скрываемое сообщение, K – секретный стегоключ, S – результирующий стегообъект. Стеганографическая стойкость по К. Качину [5] определяется через расстояние Кульбака–Лейблера между распределениями вероятностей элементов пустого (P_C) и заполненного (P_S) контейнеров. Система идеально стойка, если

$$D(P_C||P_S) = 0 \Rightarrow P_C = P_S.$$

В качестве базового метода скрытия в пространственной области изображений выбран алгоритм замены наименее значащего бита (LSB). Встраивание в аудиофайлы формата WAV (PCM 16 бит) осуществляется путем модификации младших битов амплитуды сигнала, а видеостеганография реализуется в покадровом режиме (каждый кадр потока AVI обрабатывается как изолированная RGB-матрица).

2. Архитектура программного комплекса «Stegored 1.0»

Разработка прототипа велась на языке Python 3.11 в среде РЕД ОС 8.0. В качестве технологического базиса использовались штатные репозитории ОС: библиотеки Pillow (декомпозиция графических контейнеров PNG), OpenCV (покадровая обработка видео), NumPy/SciPy (низкоуровневые операции с массивами пикселей и аудиосэмплами) и модуль cryptography.

В системе реализована двухфакторная схема защиты данных:

1. Криптографический этап: на основе пароля пользователя функция PBKDF2 (HMAC-Стрибог-256) генерирует 256-битный ключ. Исходный текст дополняется маркером верификации, выравнивается по стандарту PKCS#7 и шифруется алгоритмом ГОСТ Р 34.12-2015 («Кузнечик») [3] в режиме ECB.

2. Стеганографический этап: хэш-значение пароля инициализирует генератор псевдослучайных чисел (ГПСЧ), задающий случайный порядок обхода пикселей (или аудиосэмплов) контейнера. Зашифрованные биты последовательно внедряются в LSB-плоскости по выбранным адресам с возможностью варьирования глубины от 1 до 4 бит.

3. Экспериментальные исследования

Испытания StegoRed 1.0 проводились в РЕД ОС на репрезентативных выборках контейнеров (PNG-изображения 800×600 различной текстурной природы и WAV-аудиофайлы длительностью 5 секунд). Основным критерием оценки вносимых искажений выступало пиковое отношение сигнал/шум (PSNR, дБ), рассчитываемое на основе среднеквадратичной ошибки (MSE). Результаты внедрения шифрованного блока размером 5000 байт представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели PSNR (дБ) и емкости тестовых контейнеров

Тип и параметры контейнера	LSB-1 бит	LSB-2 бита	LSB-4 бита	Предельная емкость (1 бит), байт
Изображение «Высокочастотный шум»	56,3	49,2	41,7	180 000
Изображение «Плавный градиент»	54,8	47,6	39,4	180 000

Окончание табл. 1

Тип и параметры контейнера	LSB-1 бит	LSB-2 бита	LSB-4 бита	Предельная емкость (1 бит), байт
Изображение «Монохромный цвет»	53,2	45,9	36,8	180 000
Аудио WAV (5 сек, 44.1 кГц, стерео)	н/д	н/д	н/д	55 125

Знакомство с вычислительными гибридными сетями на базе отечественных решений

Примечание: Для аудиоконтейнера при 1-битном встраивании искажения не фиксируются слухом; при 2–4 битах на тихих участках появляется шум квантования.

Интегрированный в утилиты метод RS-стегоанализа (метод Фридрих) показал, что случайное рассеивание битов с помощью ГПСЧ снижает обнаруживаемость скрытого вложения на 35–40% по сравнению со стандартным последовательным алгоритмом LSB. При этом данные полностью разрушаются при попытке сжатия контейнеров с потерями (JPEG или MP3), что требует строгого соблюдения регламентов передачи файлов в исходных форматах.

Заключение

В ходе исследования подтверждена высокая эффективность экосистемы РЕД СОФТ для развертывания отечественных систем скрытой передачи данных. Разработанный комплекс StegoRed 1.0 успешно совмещает требования ГОСТ Р 34.12-2015 [3] и пространственного стеганографического скрытия. Для практического применения на предприятиях рекомендуется использовать контейнеры PNG и WAV с глубиной встраивания 1 бит, что гарантирует идеальный баланс емкости и перцептивной незаметности.

Список литературы

1. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.

2. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. – М.: Солон-Пресс, 2017. – 272 с.

3. ГОСТ Р 34.12-2015. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры. –М.: Стандартинформ, 2015. – 24 с.

4. Официальный сайт РЕД СОФТ. Операционная система РЕД ОС. URL: https://www.redsoft.ru/products/red-os (дата обращения: 15.05.2026).

5. Christian Cachin. «An Information-Theoretic Model for Steganography» (Information and Computation, 1998). https://cachin.com/cc/papers/stego.pdf.

УДК 004.056

АНАЛИЗ ПАРАЗИТНОЙ ЁМКОСТИ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНТРОЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПЕРИМЕТРА

Сабиров Н.А., ассистент;
Юсупов Б.З., ассистент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» г. Казань, Россия

PARASITIC CAPACITY ANALYSIS AS A TOOL FOR PHYSICAL PERIMETER CONTROL

Sabirov N.A., Assistant;
Yusupov B.Z., Assistant at the Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментального исследования метода непрерывного мониторинга целостности физического периметра объекта информационной инфраструктуры. В отличие от традиционных дискретных систем охраны, предлагаемый подход использует анализ паразитной ёмкости шлейфа сигнализации как источник данных о векторах физического воздействия. Экспериментально подтверждена возможность раннего обнаружения приближения нарушителя (до 50 см), выявления попыток несанкционированного доступа к линии связи (частичное нарушение изоляции), а также диагностики обрыва и короткого замыкания. Приведены количественные оценки чувствительности и стабильности. Разработана пороговая модель классификации уровней угрозы, интегрируемая в системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ).

Ключевые слова: информационная безопасность, физическая защита объектов, целостность периметра, паразитная ёмкость, NE555, обнаружение вторжения, непрерывный мониторинг, каналы утечки информации

Abstract

The article presents the results of an experimental study of a method for continuous monitoring of the physical perimeter of an information infrastructure facility. In contrast to traditional discrete security systems, the proposed approach uses the analysis of the parasitic capacitance of the alarm loop as a data source for physical impact vectors. The possibility of early detection of an intruder's approach (up to 50 cm), identification of unauthorized access attempts to the communication line (partial insulation breach), as well as diagnosis of open-circuit and short-circuit faults has been experimentally confirmed. Quantitative estimates of sensitivity and stability are provided. A threshold-based threat level classification model has been developed, which is integrable into information security management systems (ISMS).

Keywords: information security, physical protection of facilities, perimeter integrity, parasitic capacitance, NE555, intrusion detection, continuous monitoring, information leakage channels

Введение

В современной модели угроз информационной безопасности физический периметр объекта остаётся критическим звеном, уязвимость которого напрямую коррелирует с рисками несанкционированного доступа к информации. Традиционные системы охранной сигнализации базируются на пороговых детекторах, фиксирующих лишь факты обрыва или короткого замыкания шлейфа [1, 2].

Однако реальная картина угроз значительно шире:

1. Подготовительный этап атаки – злоумышленник может проводить разведку, приближаясь к периметру и изучая его уязвимости без физического контакта с линией [3, 4];

2. Скрытое вмешательство в линию связи – частичное повреждение изоляции с целью последующей «врезки» и перехвата сигнала или его подмены;

3. Целенаправленное подавление – короткое замыкание как способ имитации штатного состояния или вывода системы из строя [5, 6].

Цель работы заключается в экспериментальном обосновании возможности использования паразитной ёмкости шлейфа сигнализации в качестве информативного параметра для непрерывной оценки состояния физического периметра. Это позволяет перейти от дискретной модели «есть сигнал / нет сигнала» к непрерывному мониторингу векторов угрозы с градацией уровней риска.

Методика эксперимента

Для проведения эксперимента собран макет на основе таймера NE555 в режиме нестабильного мультивибратора. В качестве линии связи использовался двухпроводной кабель КСПВ 2×0,5 длиной 50 м – типовой элемент систем физической охраны объектов информационной инфраструктуры.

Измерительное оборудование:

– осциллограф Tektronix TBS1052B (50 МГц, погрешность ±0,01%);

– частотомер Agilent 53131A (контрольные измерения);

– мультиметр Fluke 87V (контроль питания и целостности соединений).

Моделируемые сценарии воздействия со стороны информационной безопасности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сценарии воздействия

Сценарий	Интерпретация как вектор угрозы
Нормальное состояние	Штатный режим, отсутствие аномалий
Приближение объекта (5–50 см)	Имитация скрытой разведки, подготовка к проникновению или съёму информации через наведённое поле
Частичное нарушение изоляции	Подготовка к несанкционированному подключению к линии («врезка») – прямой канал утечки или внедрения ложного сигнала
Обрыв шлейфа	Физическая диверсия, вывод системы из строя
Короткое замыкание	Целенаправленное подавление сигнала с целью маскировки вторжения

Все эксперименты проведены в контролируемых условиях, включающих в себя: стабилизированное питание в 12 вольт, температура окружающей среды 22±2°C. Для каждой точки измерений выполнено по 10 циклов с последующей статистической обработкой.

В табл. 2 представлены результаты измерений частоты генерации для различных состояний шлейфа.

Анализ результатов показал:

1. Раннее обнаружение – приближение нарушителя на 50 см фиксируется изменением частоты на 3,6%, что статистически значимо и позволяет инициировать превентивные меры до факта контакта с периметром.

2. Детекция скрытого вмешательства – частичное нарушение изоляции даёт сдвиг на 41,4%, что делает возможным выявление попыток несанкционированного подключения на этапе подготовки.

Таблица 2

Частотные характеристики как маркеры состояния периметра

Состояние (тип угрозы)	Средняя частота, Гц	Δf, %	СКО, Гц
Штатное состояние (эталон)	7180	0%	25
Приближение на 5 см (критическая угроза)	3520	–51,0%	45
Приближение на 10 см	4230	–41,1%	40
Приближение на 20 см	5340	–25,6%	35
Приближение на 30 см	6120	–14,8%	30
Приближение на 40 см	6670	–7,1%	28
Приближение на 50 см (порог раннего обнаружения)	6920	–3,6%	25
Повреждение изоляции (подготовка к «врезке»)	4210	–41,4%	55
Обрыв шлейфа (диверсия)	0 (генерация отсутствует)	–	–
Короткое замыкание (подавление сигнала)	12560	+74,9%	70

3. Однозначная диагностика – обрыв и КЗ дают кардинально различные частотные отклики (0 Гц и +74,9% соответственно), исключающие ложную интерпретацию.

Статистическая значимость подтверждена доверительными интервалами (p=0,95):

– норма: 7180 ± 15 Гц;

– приближение (20 см): 5340 ± 22 Гц;

– приближение (5 см): 3520 ± 28 Гц.

Отсутствие перекрытия интервалов гарантирует надёжную классификацию состояний без субъективной трактовки.

Пороговая модель оценки уровня угрозы

На основе экспериментальных данных разработана шкала классификации состояний, позволяющая автоматизировать принятие решений в СОИБ.

Таблица 3

Пороговые уровни для интеграции в систему безопасности

Уровень риска	Диапазон частот, Гц	Рекомендуемое действие
Критический (КЗ / подавление)	f > 9000	Аварийная тревога, переход на резервный канал, оповещение службы безопасности
Штатный режим	6500 < f < 7500	Логгирование состояния, регулярная калибровка
Низкий уровень угрозы (приближение на 30–50 см)	5000 < f < 6500	Усиление видеонаблюдения, проверка периметра
Высокий уровень угрозы (вторжение или «врезка»)	3000 < f < 5000	Немедленная реакция, фиксация времени и координат инцидента
Критический (обрыв / глубокое воздействие)	f < 3000 или отсутствие сигнала	Изоляция сегмента, формирование инцидента в SIEM

Кроме этого, были выработаны рекомендации по настройке для практического применения:

1. Измерить частоту в нормальном состоянии после монтажа конкретного шлейфа;
2. Установить порог предупреждения на 15–20% ниже нормальной частоты;
3. Установить порог тревоги на 35–40% ниже нормальной частоты;
4. Установить верхний порог (короткое замыкание) на 20–30% выше нормальной частоты;
5. Ввести временную задержку подтверждения 100–300 мс для фильтрации кратковременных изменений параметров линий, например, в результате воздействия кратковременных помех.

Сравнительный анализ с традиционными методами

Традиционный метод предполагает дискретную величину и проверяет, фактически, шлейф лишь на обрыв соединения [7, 8]. Это можно интерпретировать как отключение питания или штатный режим работы. Предложенный метод детектирования позволяет изменить траекторию видимости до аналогового вида. Подразумевается установка некоторых уровней тревоги. В табл. 4 представляется сводная информация по сравнению методов детектирования, представленных в данной статье.

Таблица 4

Сравнение предложенного метода с традиционными решениями

Функция (детектируемая угроза)	**Традиционные методы**	**Предложенный метод**
Обрыв линии (диверсия)	Да	Да
КЗ (подавление сигнала)	Частично	Да
Приближение нарушителя (разведка)	Нет	Да (до 50 см)
Нарушение изоляции (подготовка к подключению)	Нет	Да
Непрерывный мониторинг	Дискретный	Аналоговый / непрерывный
Интеграция с SIEM (числовая метрика)	Нет	Да
Дополнительные датчики	Требуются	Не требуются
Стоимость реализации	Средняя/высокая	Низкая

Заключение

Проведённые экспериментальные исследования подтверждают, что использование паразитной ёмкости шлейфа сигнализации в частотозадающей цепи позволяет реализовать эффективный метод предиктивного мониторинга физического периметра.

Основные достижения с позиций информационной безопасности:

1. Обнаружение на этапе подготовки – система фиксирует приближение нарушителя на расстоянии до 50 см, что даёт временной запас для реагирования до факта физического контакта с объектом;
2. Выявление скрытых угроз – впервые в рамках одной линии обеспечивается детекция частичного нарушения изоляции как индикатора подготовки к несанкционированному подключению;
3. Однозначная классификация – обрыв, КЗ и внешнее воздействие дают непересекающиеся частотные отклики, что исключает неопределённость при принятии решений;
4. Интеграция в СОИБ – числовое значение частоты может быть оцифровано и передано в SIEM-систему как метрика состояния периметра;

5. Экономическая эффективность – реализация на базе NE555 и минимуме дискретных компонентов позволяет тиражировать решение без привлечения дорогостоящих емкостных датчиков.

Экспериментально подтверждена стабильность метода в штатных условиях эксплуатации при стабилизированном питании и комнатной температуре. Полученные количественные характеристики (доверительные интервалы, отсутствие перекрытия режимов) обеспечивают надёжную идентификацию состояний без необходимости сложной алгоритмической обработки.

Дальнейшие направления для развития метода:

– внедрение адаптивной калибровки для автоматической компенсации температурных воздействий при эксплуатации в неотапливаемых помещениях в зимний период;

– применение алгоритмов машинного обучения для распознавания типа нарушителя (человек, животное, техника) [9, 10];

– интеграция с системами видеоаналитики для многофакторного подтверждения событий.

Список литературы

1. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97-103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010.

2. Шарипов, Р. Р. Исследование электрических параметров пороговых извещателей / Р. Р. Шарипов, Б. З. Юсупов // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 3. – С. 29-47. – DOI: 10.7256/2454-0714.2023.3.43682.

3. Anikin I.V. Pseudo-random number generator based on fuzzy logic / I.V. Anikin, K. Alnajjar // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2016) : proceedings. – Новосибирск : IEEE, 2016. – С. 7491667.

4. Юсупов, Б. З. Разработка учебного стенда охранно-пожарной системы для обучения студентов / Б. З. Юсупов // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 2. – С. 40-48. – DOI: 10.7256/2454-0714.2023.2.43552.

5. Шарипов, Р. Р. Исследования скорости передачи данных в PLC сети в учебной лаборатории / Р. Р. Шарипов, А. Ф. Фатхелисламов // Информационные технологии обеспечения комплексной безопасности в цифровом обществе: Сборник материалов VI Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием, Уфа, 19–20 мая 2023 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2023. – С. 55-60.

6. Ожмекова, Е. Д. Исследования методов кодирования информации для повышения пропускной способности канала связи при передаче больших данных / Е. Д. Ожмекова, Р. Р. Шарипов // Международный форум Kazan Digital Week – 2025: сборник материалов. – Казань: АН РТ, 2025. – С. 786-792.

7. Garaeva A. A framework for co-location patterns mining in big spatial data / A. Garaeva, F. Makhmutova, I. Anikin, K.-U. Sattler // Proceedings of 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). – Piscataway, NJ : IEEE, 2017. – С. 477-480.

8. Nguyen, T. T. Trust-aware semantic data Virtualization for decentralized systems with context-adaptive query orchestration / T. T. Nguyen, Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 102, № 5-5. – P. 117-127. – DOI 10.36871/26189976.2026.05-5.010.

9. Шарипов, Р. Р. Разработка программного комплекса реализации алгоритма Берлекэмпа – Месси на регистрах сдвига для обучающихся по дисциплине «Криптография» / Р. Р. Шарипов, А. А. Кассирова // Computational Nanotechnology. – 2025. – Т. 12, № 1. – С. 97-104. – DOI: 10.33693/2313-223X-2025-12-1-97-104.

10. Юсупов, Б. З. Разработка стенда для контроля и анализ пороговых извещателей / Юсупов Б. З. // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2024: тезисы докладов XI Междунар. молодеж. науч.-техн. конф. – Казань, 2024. – С. 909-910.

УДК 004.056

АНАЛИЗ СОСТЯЗАНИЯ СИГНАЛОВ В JK-ТРИГГЕРЕ КАК МОДЕЛИ АТАКИ FAULT INJECTION

Сабиров Н.А., ассистент;
Юсупов Б.З., ассистент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

SIGNAL CONTENTION IN A JK FLIP-FLOP AS A FAULT INJECTION ATTACK MODEL

Sabirov N.A., Assistant;
Yusupov B.Z., Assistant at the Department of Information Security Systems of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

Рассматривается механизм возникновения состязания сигналов в Master-ступени JK-триггера при одновременной подаче J=1, K=1 как модель атаки с инжекцией сбоев (Fault Injection). Предложена поведенческая модель на языке Verilog, позволяющая исследовать влияние тактового glitch'a на исход состязания. Показано, что внесение glitch'a изменяет эффективные задержки сигнальных путей Set и Reset, что приводит к инверсии выходного бита при определённых параметрах воздействия. Экспериментально получено окно уязвимости: при амплитуде glitch'a $|\Delta| \geq 3$ пс вероятность сбоя достигает 1, в диапазоне $|\Delta| \leq 2$ пс наблюдается зона метастабильности с P(сбоя) ≈ 0.5. Результаты моделирования подтверждают, что стандартный JK-триггер уязвим к атакам с инжекцией сбоев, а состязание сигналов является физическим механизмом этой уязвимости.

Ключевые слова: JK-триггер, Fault Injection, состязание сигналов, окно уязвимости, инжекция сбоев, Verilog, поведенческое моделирование

Abstract

It is known, that the mechanism of signal contention in the Master stage of a JK flip-flop under simultaneous J=1, K=1 is considered as a model of a Fault Injection attack. A behavioral Verilog model is proposed to study the effect of a clock glitch on the contention outcome. It is shown that the introduction of a glitch alters the effective delays of the Set and Reset signal paths, resulting in an output bit flip for certain glitch parameters. The vulnerability window is experimentally obtained: for glitch amplitude $|\Delta| \geq 3$ ps, the fault probability reaches 1, while in the range $|\Delta| \leq 2$ ps a metastability zone with P(fault) ≈ 0.5 is observed. The simulation results confirm that a standard JK flip-flop is vulnerable to Fault Injection attacks, and that signal contention constitutes the physical mechanism of this vulnerability.

Keywords: JK flip-flop, Fault Injection, signal contention, vulnerability window, glitch attack, Verilog, behavioral simulation

Введение

Одним из актуальных направлений современной кибербезопасности является обеспечение устойчивости аппаратной реализации цифровых устройств к физическим воздействиям. Наряду с программными методами компрометации информационных систем всё большее распространение получают аппаратные атаки, основанные на изменении условий функционирования электронных компонентов. Такие воздействия позволяют нарушать выполнение

вычислений, изменять состояние памяти и получать доступ к защищённой информации без эксплуатации программных уязвимостей.

Атаки с инжекцией сбоев (Fault Injection, FI) являются одним из наиболее эффективных методов нарушения работы цифровых устройств и извлечения защищённой информации [1]. Суть метода заключается в намеренном внесении возмущений в работу интегральной схемы – посредством изменения напряжения питания, тактовой частоты, температуры или воздействия электромагнитным излучением – с целью вызвать сбой в критический момент вычислений. Возникающие при этом ошибки анализируются злоумышленником для восстановления криптографических ключей (Differential Fault Analysis), обхода аутентификации или нарушения целостности данных.

Объектом атаки с инжекцией сбоев может выступать любой синхронный элемент цифровой схемы, однако наибольший интерес представляют триггеры – базовые ячейки памяти, непосредственно участвующие в хранении и преобразовании информации. Среди них JK-триггер занимает особое место: при подаче J=1, K=1 он переходит в режим переключения (toggle), в котором его выход инвертируется на каждом такте. Этот режим является штатным, однако в его основе лежит механизм состязания (гонки) сигналов в Master-ступени триггера [2]. При равенстве эффективных задержек путей установки (Set) и сброса (Reset) исход состязания определяется случайными факторами, такими как тепловой шум. Если злоумышленник способен влиять на разность этих задержек – например, посредством тактового glitch'a – он получает возможность управлять исходом состязания и, как следствие, значением выходного бита.

Целью настоящей работы является анализ механизма состязания сигналов в JK-триггере как физической модели атаки с инжекцией сбоев и экспериментальное определение окна уязвимости – диапазона параметров glitch'a, при которых происходит инверсия выходного бита. Полученные результаты могут использоваться как при исследовании аппаратных атак, так и при разработке учебных лабораторных комплексов по дисциплинам, связанным с аппаратной защитой информации [3].

Модель состязания сигналов в JK-триггере

Классический двухступенчатый JK-триггер (Master-Slave) на элементах И-НЕ [3] содержит две последовательно включённые защёлки. При подаче J=1, K=1 обе перекрёстные обратные связи Master-ступени активны одновременно, и на входах Slave-ступени возникает состязание сигналов установки и сброса (рис. 1).

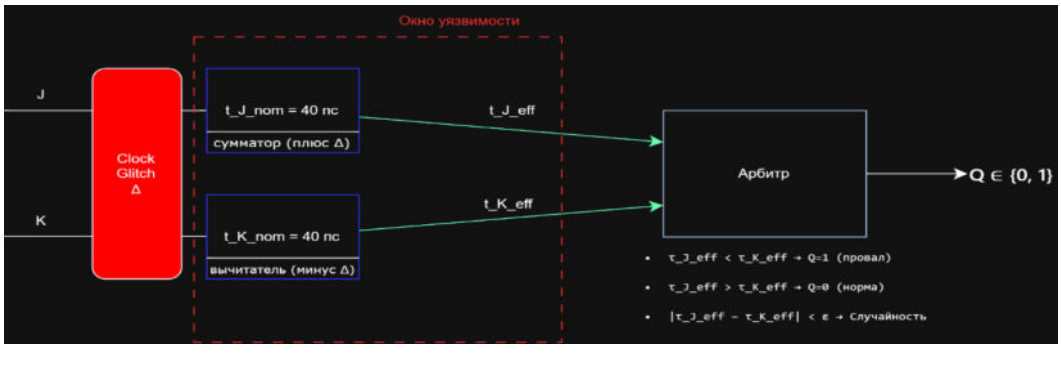


Рис. 1. Модель состязания сигналов в Master-ступени JK-триггера при атаке с инжекцией сбоев

Исход состязания определяется тем, какой из двух фронтов сигнала достигнет порога переключения первым, то есть разностью задержек распространения τ_J и τ_K соответствующих сигнальных путей.

В штатном режиме разность задержек $|\tau_J - \tau_K|$ достаточно велика, чтобы один из путей стабильно выигрывал, и триггер переключался предсказуемо. Однако при технологической симметрии задержек ($\tau_J \approx \tau_K$) или при внешнем воздействии, изменяющем задержки,

возникает зона неопределённости, в которой исход состязания чувствителен к малым возмущениям.

Тактовый glitch – кратковременное искажение сигнала синхронизации – является одним из наиболее распространённых методов Fault Injection [1]. В контексте JK-триггера glitch влияет на эффективные задержки сигнальных путей. Моделируя glitch как аддитивную добавку Δ к номинальным задержкам, запишем эффективные задержки (1, 2):

$$\tau_J_eff = \tau_J_nom + \Delta, \quad (1)$$

$$\tau_K_eff = \tau_K_nom - \Delta. \quad (2)$$

Эффективная разность задержек (3):

$$\delta_eff = \tau_J_eff - \tau_K_eff = (\tau_J_nom - \tau_K_nom) + 2\Delta. \quad (3)$$

При τ_J_nom = τ_K_nom = τ (4):

$$\delta_eff = 2\Delta. \quad (4)$$

Исход состязания определяется знаком δ_eff:
– δ_eff < 0 → J-путь быстрее → Q=1 (сбой).
– δ_eff > 0 → K-путь быстрее → Q=0 (норма).
– |δ_eff| < ε → зона метастабильности, исход случаен.

Порог ε определяется уровнем теплового шума и в данной работе принят равным 5 пс. Тогда окно уязвимости – диапазон Δ, при котором |2Δ| < 5 пс, то есть |Δ| < 2.5 пс. В этой зоне P(сбоя) ≈ 0.5. При |Δ| ≥ 3 пс исход становится детерминированным: отрицательный Δ вызывает гарантированный сбой (Q=1), положительный – гарантированное отсутствие сбоя (Q=0).

Методика моделирования Fault Injection

Для исследования влияния тактового glitch'a на исход состязания разработана поведенческая модель JK-триггера на языке Verilog. Модель реализует двухступенчатую архитектуру (Master-Slave) и параметризуется номинальными задержками сигнальных путей tau_j_ps и tau_k_ps.

В модель введён вход glitch_delta (Δ), представляющий амплитуду тактового glitch'a. При активации сигнала glitch_active эффективные задержки вычисляются как (5, 6):

$$tau_j_eff = TAU_J_PS + glitch_delta; \quad (5)$$

$$tau_k_eff = TAU_K_PS - glitch_delta; \quad (6)$$

Разность эффективных задержек delta_eff = tau_j_eff – tau_k_eff определяет исход состязания согласно правилу арбитража:
– delta_eff < -5 пс → Set быстрее → Q = 1 (сбой).
– delta_eff > +5 пс → Reset быстрее → Q = 0 (норма).
– |delta_eff| ≤ 5 пс → зона метастабильности → Q = $random % 2.

Для корректной обработки искажённого тактового сигнала реализован ручной детектор фронта, реагирующий на любое изменение сигнала C:

```
always @(C) begin
   if (C && !C_prev) begin
      // логика Master-ступени
   end
   if (!C && C_prev) begin
      // захват в Slave-ступень
   end
   C_prev <= C;
end
```

Эксперимент проводится в среде Vivado Simulator. Testbench реализует циклическую подачу glitch'a со случайной амплитудой Δ в диапазоне [-20, +20] пс с шагом 1 пс. На каждом шаге:

1. Ожидание середины периода тактового сигнала (C=0);
2. Активация glitch_active – изменение эффективных задержек;
3. Ожидание фронта C (posedge) – срабатывание Master-ступени с искажёнными задержками;
4. Деактивация glitch_active, ожидание negedge – захват результата Slave-ступенью;
5. Фиксация Q.

Параметры симуляции: TAU_J_PS = 40, TAU_K_PS = 40, период тактового сигнала 10 000 пс. Для каждого значения Δ проведено от 14 до 35 испытаний (распределение задано генератором случайных чисел), всего 1000 испытаний.

Результаты сохраняются в CSV-файл stats.txt, содержащий для каждого Δ: общее число испытаний, число сбоев (Q=1) и вероятность сбоя P(сбой). По этим данным строится график окна уязвимости – зависимости P(сбоя) от амплитуды glitch'a Δ.

Результаты моделирования

Результаты моделирования представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Вероятность сбоя JK-триггера

Δ, пс	Число испытаний	Число сбоев	P(сбой)
-20...-3	20–30	20–30	1.000
-2	14	8	0.571
-1	31	17	0.548
0	19	10	0.526
+1	31	15	0.484
+2	24	16	0.667
+3...+20	16–35	0	0.000

Полученные результаты демонстрируют чётко выраженное окно уязвимости с тремя характерными зонами.

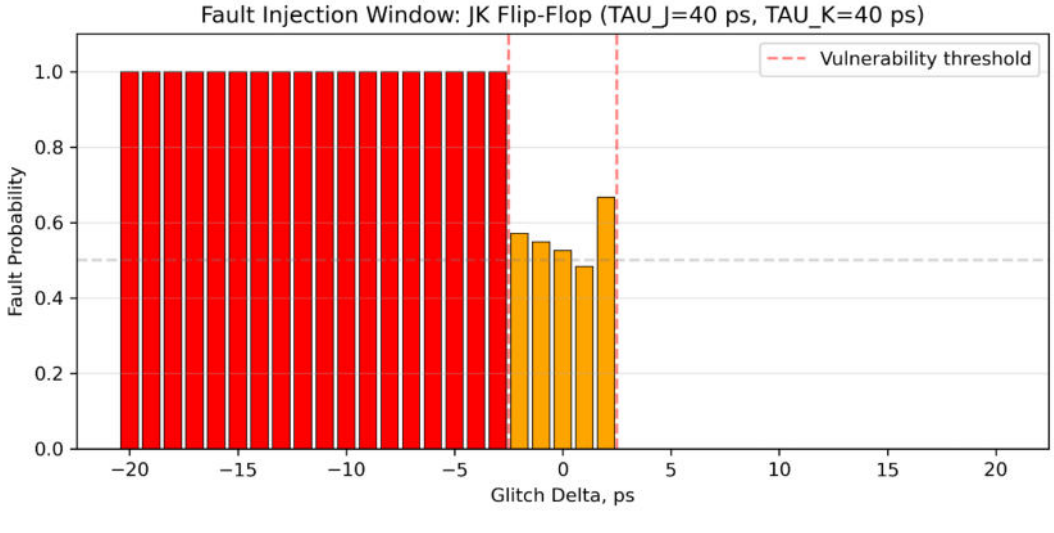


Рис. 2. Окно уязвимости JK-триггера: зависимость вероятности сбоя P(сбой) от амплитуды glitch'a Δ

Зона гарантированного сбоя (Δ ≤ -3 пс). При отрицательной амплитуде glitch'a J-путь ускоряется, K-путь замедляется. Разность эффективных задержек δ_eff становится отрицательной, и Set стабильно выигрывает состязание. Вероятность сбоя P(Q=1) = 1.0.

Зона гарантированного отсутствия сбоя (Δ ≥ +3 пс). При положительной амплитуде glitch'a K-путь ускоряется, J-путь замедляется. Разность δ_eff положительна, Reset стабильно выигрывает. P(Q=1) = 0.0.

Зона метастабильности (|Δ| ≤ 2 пс). При малых значениях Δ разность эффективных задержек не превышает порога ε = 5 пс. Исход состязания определяется случайными факторами, моделируемыми генератором псевдослучайных чисел. Вероятность сбоя в этой зоне составляет P ≈ 0.5, что соответствует теоретическому предсказанию.

Экспериментально определённый порог уязвимости составляет |Δ_threshold| ≈ 3 пс. При номинальных задержках τ_J = τ_K = 40 пс это соответствует относительному изменению задержки на 7.5%. Практически это означает, что злоумышленнику достаточно внести glitch амплитудой в единицы пикосекунд, чтобы гарантированно инвертировать выходной бит JK-триггера.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности исследуемой модели к малым изменениям временных параметров. Это подтверждает необходимость учёта реальных задержек цифровых элементов при проектировании аппаратных средств защиты информации и разработке механизмов противодействия атакам с инжекцией сбоев.

Заключение

В работе исследован механизм состязания сигналов в Master-ступени JK-триггера как физическая модель атаки с инжекцией сбоев (Fault Injection). Разработанная поведенческая модель позволила исследовать влияние тактового glitch на изменение эффективных задержек сигнальных путей и определить условия, при которых происходит инверсия выходного состояния триггера.

Результаты моделирования показали существование выраженного окна уязвимости, внутри которого исход состязания определяется случайными факторами, а за его пределами становится детерминированным. Экспериментально установлено, что пороговое значение амплитуды воздействия составляет около 3 пс, что соответствует относительному изменению задержки порядка 7,5 % и обеспечивает гарантированную инверсию выходного бита.

Полученные результаты подтверждают возможность использования состязания сигналов в качестве адекватной модели исследования атак Fault Injection на последовательностные цифровые устройства. Предложенный подход позволяет оценивать влияние малых временных возмущений на функционирование цифровых схем ещё на этапе моделирования и может применяться при разработке методов анализа устойчивости аппаратных средств защиты информации к физическим воздействиям.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной модели при исследовании аппаратных механизмов защиты информации, верификации цифровых устройств и разработке схем обнаружения и противодействия glitch-атакам. Дальнейшие исследования целесообразно направить на анализ более сложных последовательностных структур, экспериментальную проверку результатов на реальных ПЛИС и разработку методов повышения устойчивости цифровых устройств к атакам с инжекцией сбоев. А также практические вопросы исследования защищённости аппаратных и сетевых компонентов информационных систем требуют использования специализированных лабораторных комплексов и экспериментальных стендов. Подобный подход ранее был реализован авторами при разработке лабораторных комплексов по вопросам: технических средств охраны, технической защиты информации и криптографических методов защиты информации [4-10].

Список литературы

1. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97-103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010. – EDN PHWCRQ.

2. Anikin I.V., Alnajjar K. Pseudo-random number generator based on fuzzy logic // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Moscow, 2016. P. 1–4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491667.

3. Nguyen, T. T. Trust-aware semantic data Virtualization for decentralized systems with context-adaptive query orchestration / T. T. Nguyen, Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 102, № 5-5. – P. 117-127. – DOI 10.36871/26189976.2026.05-5.010. – EDN XRFZFC.

4. Юсупов, Б. З. Лабораторный стенд анализа уязвимостей охранно-пожарной сигнализации на основе приемно-контрольного прибора Астра-812 Pro / Б. З. Юсупов // МНПК-2024 : материалы Всероссийской молодёжной научно-практической конференции, Казань, 27–29 мая 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 268-271.

5. Investigation of mechanical properties of thermal barrier coating by tested on a 4-point bending / A. R. Ibragimov, L. N. Shafigullin, A. T. Gabdrakhmanov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, № 5. – P. 2308-2317. – EDN XFLTXX.

6. Юсупов, Б. З. Исследование режимов защищённого подключения WIFI точек доступа на базе D-Link DWL 2100AP / Б. З. Юсупов, С. Н. Казахмедов // Профессиональные коммуникации в научной среде – фактор обеспечения качества исследований : сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции, Альметьевск, 24 ноября 2025 года. – Белгород: ИД «БелГУ», ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», 2026. – С. 246-251.

7. Олин, Р. А. Управление рисками информационной безопасности при внедрении автономных агентов с искусственным интеллектом / Р. А. Олин, Р. Р. Шарипов, В. В. Бондаренко // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 35-42. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-35-42. – EDN UPTRWD.

8. Шарипов, Р. Р. Разработка программно-лабораторного комплекса для изучения кодирования информации методом Хаффмана / Р. Р. Шарипов, Е. Д. Ожмекова, М. Ю. Перухин // Computational Nanotechnology. – 2026. – Т. 13, № 1. – С. 167-174. – DOI 10.33693/2313-223X-2026-13-1-167-174. – EDN NCCSUC.

9. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28-34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34. – EDN MSJHRC.

10. Юсупов, Б. З. Методика проведения лабораторных работ на стенде «ОПС Астра-812pro» по дисциплине «Технические средства охраны» / Б. З. Юсупов, А. М. Мартынов, Р. Р. Шарипов // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании. Молодежный научный форум : Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции, Ижевск, 25–26 мая 2023 года. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2023. – С. 476-479.

УДК 004.056

ПОСТСИНТЕЗНЫЙ АНАЛИЗ ЗАДЕРЖЕК СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ JK-ТРИГГЕРА НА ПЛИС ARTIX-7 ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Сабиров Н.А., ассистент;
Юсупов Б.З., ассистент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

POST-SYNTHESIS ANALYSIS OF SIGNAL PATH DELAYS IN AN ARTIX-7 FPGA JK TRIGGER TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF HARDWARE-BASED INFORMATION SECURITY MEASURES

Sabirov N.A., Assistant;
Yusupov B.Z., Assistant at the Department of Information Security Systems Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

Представлены результаты анализа задержек сигнальных путей установки (Set) и сброса (Reset) JK-триггера, реализованного на ПЛИС Artix-7. Методом постсинтезного моделирования в среде Vivado получены реальные значения задержек из SDF-файла после этапа размещения и трассировки. Установлено, что даже при симметричной RTL-модели ($\tau_J = \tau_K$) технологическая асимметрия задержек составляет порядка 4 пс, что обусловлено различиями в длине трассировочных соединений. Полученные значения верифицируют поведенческую модель состязания сигналов в Master-ступени JK-триггера и подтверждают принципиальную возможность использования стандартной библиотечной ячейки в приложениях, чувствительных к фемтосекундной асимметрии задержек. Полученные результаты могут использоваться при проектировании аппаратных средств защиты информации, генераторов истинно случайных чисел, физически неклонируемых функций и средств анализа устойчивости цифровых устройств к аппаратным атакам.

Ключевые слова: JK-триггер, ПЛИС, Artix-7, постсинтезное моделирование, задержки сигнальных путей, SDF, Vivado, асимметрия задержек

Abstract

The paper presents the results of a delay analysis of the Set and Reset signal paths of a JK flip-flop implemented on an Artix-7 FPGA. Using post-synthesis simulation in Vivado, realistic delay values were extracted from the SDF file after placement and routing. It was found that even with a symmetric RTL model ($\tau_J = \tau_K$), the technological delay asymmetry amounts to approximately 4 ps due to differences in routing interconnect lengths. The obtained values verify the behavioral model of signal contention in the Master stage of a JK flip-flop and confirm the fundamental feasibility of using a standard library cell in applications sensitive to femtosecond delay asymmetry. The results obtained can be used in the design of hardware-based information security systems, true random number generators, physically unclonable functions, and methods for analyzing the resilience of digital devices to hardware attacks.

Keywords: JK flip-flop, FPGA, Artix-7, post-synthesis simulation, signal path delays, SDF, Vivado, delay asymmetry

Введение

В условиях широкого распространения аппаратных средств защиты информации возрастает роль исследований, направленных на обеспечение безопасности цифровых устройств

на уровне их физической реализации [1]. Современные программируемые логические интегральные схемы (далее – ПЛИС) активно используются при создании доверенных вычислительных модулей, криптографических ускорителей, генераторов истинно случайных чисел (TRNG), физически неклонируемых функций (PUF), а также специализированных средств обработки информации [2]. Надёжность подобных устройств определяется не только корректностью логической схемы, но и особенностями физической реализации цифровых элементов, включая реальные задержки распространения сигналов, возникающие после размещения и трассировки проекта на кристалле.

Исследование временных характеристик логических элементов представляет практический интерес для задач аппаратной кибербезопасности, поскольку различия в задержках сигнальных путей могут влиять на устойчивость устройств к атакам по побочным каналам, инжекции сбоев (Fault Injection), а также на качество функционирования аппаратных источников энтропии и механизмов аппаратной аутентификации [3]. В связи с этим методы оценки реальных временных параметров цифровых схем становятся важным инструментом анализа защищённости аппаратной реализации.

Одним из базовых последовательностных элементов цифровой схемотехники является JK-триггер, широко применяемый при построении конечных автоматов, устройств синхронизации и специализированных цифровых модулей [4]. При подаче комбинации входных сигналов J = 1 и K = 1 в Master-ступени триггера возникает состязание (гонка) сигналов установки (Set) и сброса (Reset), исход которого определяется разностью задержек соответствующих сигнальных путей τJ и τK. В идеализированной RTL-модели данные задержки считаются одинаковыми, однако в реальной аппаратной реализации неизбежно возникает технологическая асимметрия, обусловленная особенностями трассировки межсоединений и размещения логических элементов на кристалле.

Количественная оценка такой асимметрии имеет практическое значение при разработке аппаратных средств защиты информации, поскольку позволяет повысить достоверность моделей, используемых при исследовании поведения цифровых устройств в условиях физических воздействий. Несмотря на широкое применение постсинтезного моделирования в процессе проектирования цифровых схем, экспериментальные данные о реальных задержках стандартных библиотечных элементов ПЛИС представлены в литературе ограниченно, особенно в контексте задач аппаратной безопасности [5-10].

Целью настоящей работы является экспериментальное определение реальных задержек сигнальных путей установки и сброса JK-триггера, реализованного на ПЛИС Artix-7, методом постсинтезного моделирования в среде Vivado с использованием данных Standard Delay Format (SDF), а также оценка влияния технологической асимметрии на применение подобных устройств в задачах аппаратной кибербезопасности.

Методика

Исследование выполнено в среде Xilinx Vivado 2019.1. Целевой кристалл Artix-7 (xc7a35tcsg324-1).

На первом этапе разработана поведенческая RTL-модель двухступенчатого JK-триггера (Master-Slave) на языке Verilog. Модель реализует классическую логику переключения: при J=1, K=1 выход инвертируется на каждом такте. Для обеспечения синтезируемости модели ручной детектор фронта тактового сигнала реализован через анализ изменения уровня C относительно предыдущего значения, сохранённого в регистре C_prev:

```
always @(C) begin
if (C && !C_prev)
if (!C && C_prev)
  C_prev <= C;
  end
```

Для предотвращения оптимизации синтезатором неиспользуемых цепей введён фиктивный выходной регистр dummy_out[7:0], нагружающий выходы Q и Qn, и применён атрибут DONT_TOUCH ко всем внутренним регистрам триггера.

На втором этапе выполнен полный цикл проектирования: синтез (Synthesis) и имплементация (Implementation), включающая размещение (Placement) и трассировку (Routing).

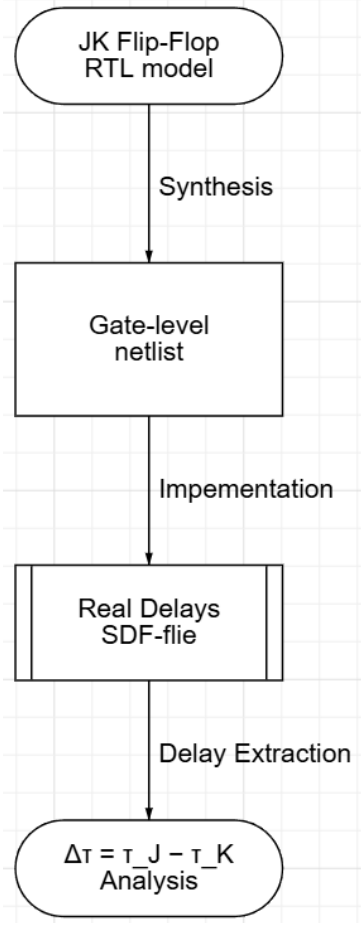


Рис. 1. Маршрут извлечения реальных задержек сигнальных путей JK-триггера

После успешного завершения имплементации из проекта экспортирован Standard Delay Format (SDF) файл, содержащий реальные значения задержек всех элементов и межсоединений с учётом топологии кристалла.

На третьем этапе из SDF-файла извлечены значения задержек для ключевых сигнальных путей: J → master_Q_reg (Set-путь) и K → master_Qn_reg (Reset-путь), включая задержки входных буферов (IBUF), логических элементов (LUT4, LDCE), межсоединений (INTERCONNECT) и выходных буферов (OBUF). Разность задержек путей $\Delta t = \tau_J - \tau_K$ определена как количественная мера технологической асимметрии.

Использование постсинтезного моделирования позволяет учитывать реальные временные характеристики цифровых элементов, возникающие после размещения и трассировки проекта. Для задач аппаратной безопасности это имеет принципиальное значение, поскольку даже незначительная асимметрия задержек может влиять на корректность функционирования аппаратных механизмов защиты информации и результаты оценки устойчивости устройств к физическим воздействиям.

Результаты

Результаты извлечения задержек из SDF-файла после имплементации JK-триггера на кристалле Artix-7 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Задержки сигнальных путей Set и Reset JK-триггера на Artix-7

Элемент пути	J-путь (Set), пс	K-путь (Reset), пс
Входной буфер (IBUF)	832–966	836–970
LUT (комбинационная логика)	100–124	100–124
Регистр Master (LDCE, D→Q)	213–264	213–264
Межсоединение Master→Slave	475–569	479–575
Регистр Slave (LDCE, G→Q)	357–443	357–443
Выходной буфер (OBUF)	2447–2858	1766–2049
Суммарная задержка (средняя)	≈ 4600 пс	≈ 4604 пс

Средние значения суммарных задержек по путям Set и Reset вычислены по центральным значениям диапазонов min:typ:max из SDF-файла. Разность задержек составляет:

$$\Delta t_chip = \tau_J - \tau_K \approx 4 \text{ пс}.$$

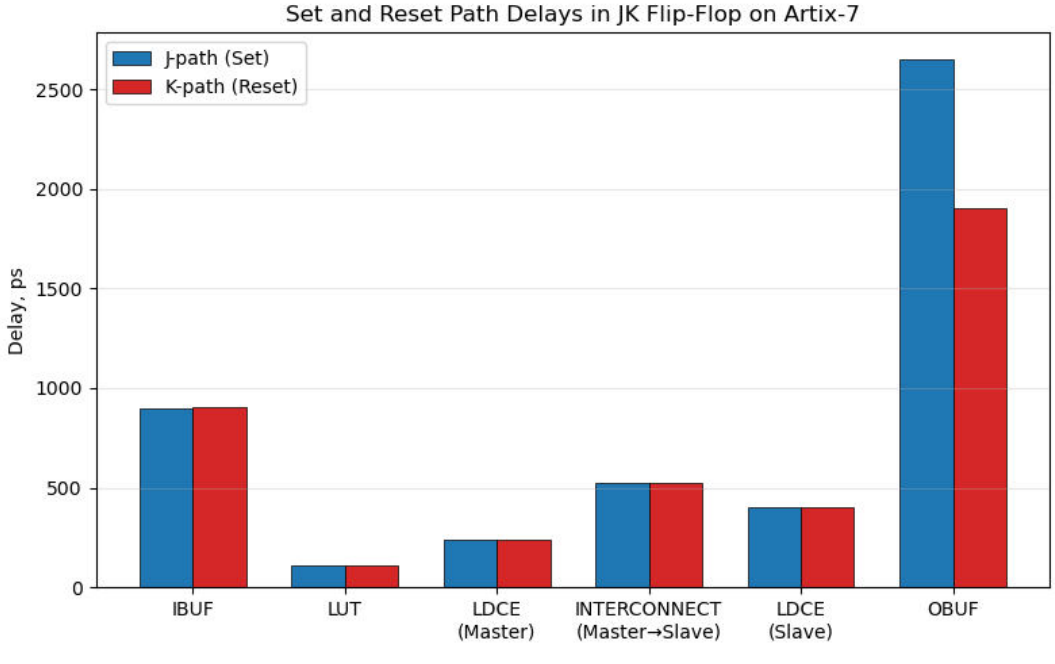


Рис. 2. Диаграмма задержек

Полученное значение Δt_chip ≈ 4 пс подтверждает, что даже в номинально симметричной RTL-модели JK-триггера технологическая асимметрия задержек реального кристалла составляет единицы пикосекунд. Основной вклад в асимметрию вносят межсоединения (INTERCONNECT) – различие в длине трассировочных линий между Master и Slave регистрами составляет 4–6 пс, и выходные буферы – различие порядка 750 пс, связанное с разным расположением выходных контактов Q и Qn на кристалле.

Заключение

Проведённое исследование позволило определить реальные задержки сигнальных путей установки и сброса JK-триггера, реализованного на ПЛИС Artix-7, с использованием постсинтезного моделирования и анализа данных, извлечённых из SDF-файла после этапов размещения и трассировки проекта. Полученные результаты показывают, что даже при полностью

симметричном RTL-описании технологические особенности физической реализации приводят к возникновению устойчивой асимметрии задержек порядка нескольких пикосекунд.

Установленная величина асимметрии подтверждает необходимость учёта реальных временных характеристик при анализе поведения последовательностных цифровых устройств. Для приложений, основанных на использовании внутренних особенностей аппаратной реализации, таких как генераторы истинно случайных чисел, физически неклонируемые функции и средства противодействия аппаратным атакам, подобные различия могут оказывать непосредственное влияние на корректность работы алгоритмов и достоверность результатов моделирования.

Практическая значимость исследования заключается в демонстрации методики извлечения реальных задержек стандартных библиотечных элементов ПЛИС средствами Vivado без применения специализированного измерительного оборудования. Предложенный подход может использоваться при проектировании, верификации и исследовании аппаратных средств защиты информации, а также при оценке устойчивости цифровых устройств к атакам типа Fault Injection и анализу временных характеристик критически важных узлов.

Полученные результаты расширяют возможности применения постсинтезного анализа в задачах аппаратной кибербезопасности и подтверждают, что учёт технологической асимметрии сигнальных путей позволяет повысить достоверность моделей, используемых при разработке защищённых цифровых устройств.

Список литературы

1. Nguyen, T. T. Trust-aware semantic data Virtualization for decentralized systems with context-adaptive query orchestration / T. T. Nguyen, Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 102, № 5-5. – P. 117-127. – DOI 10.36871/26189976.2026.05-5.010. – EDN XRFZFC.

2. Юсупов, Б. З. Разработка учебного стенда охранно-пожарной системы для обучения студентов / Б. З. Юсупов // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 2. – С. 40-48. – DOI 10.7256/2454-0714.2023.2.43552. – EDN TFKJAS.

3. Олин, Р. А. Управление рисками информационной безопасности при внедрении автономных агентов с искусственным интеллектом / Р. А. Олин, Р. Р. Шарипов, В. В. Бондаренко // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 35-42. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-35-42. – EDN UPTRWD.

4. Investigation of mechanical properties of thermal barrier coating by tested on a 4-point bending / A. R. Ibragimov, L. N. Shafigullin, A. T. Gabdrakhmanov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, № 5. – P. 2308-2317. – EDN XFLTXX.

5. Anikin I.V., Alnajjar K. Pseudo-random number generator based on fuzzy logic // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Moscow, 2016. P. 1–4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491667.

6. Юсупов, Б. З. лабораторный стенд Wi-Fi сети / Б. З. Юсупов, С. Н. Казахмедов // Профессиональные коммуникации в научной среде – фактор обеспечения качества исследований : сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции, Альметьевск, 24 ноября 2025 года. – Белгород: ИД «БелГУ», ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», 2026. – С. 251-255

7. Юсупов, Б. З. Методика проведения занятий на учебном стенде на основе точек доступа D-link DWL 2100AP / Б. З. Юсупов, С. Н. Казахмедов // Международный форум Kazan Digital Week – 2025 : Сборник материалов, Казань, 17–19 сентября 2025 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2025.

8. Шарипов, Р. Р. Разработка программно-лабораторного комплекса для изучения кодирования информации методом Хаффмана / Р. Р. Шарипов, Е. Д. Ожмекова, М. Ю. Перухин

// Computational Nanotechnology. – 2026. – Т. 13, № 1. – С. 167-174. – DOI 10.33693/2313-223X-2026-13-1-167-174. – EDN NCCSUC.

9. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28-34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34. – EDN MSJHRC.

10. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97-103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010. – EDN PHWCRQ.

УДК 004.056

ИНТЕГРАЦИЯ SIEM-СИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЗАЩИЩЁННОСТИ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Сабирова Д.И., к.х.н., доцент;
ORCID: 0009-0007-5066-5907;
Нестеренко С.В., студент;
ORCID: 0009-0001-6808-5034;
Гришин Е.И., студент кафедры «Информационная безопасность» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия

SIEM SYSTEM INTEGRATION AS A TOOL FOR ENHANCING ENTERPRISE IT INFRASTRUCTURE SECURITY

Sabirova D.I., Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0009-0007-5066-5907;
Nesterenko S.V., Student;
ORCID: 0009-0001-6808-5034;
Grishin E.I., Student at the Department of Information Security, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Аннотация

В условиях постоянного усложнения векторов кибератак обеспечение надёжной защиты корпоративных сетей крупных предприятий требует перехода от классических систем фильтрации к комплексным инструментам мониторинга и управления инцидентами. Одним из таких инструментов выступают SIEM-системы (Security Information and Event Management), позволяющие централизованно собирать, нормализовать и анализировать события ИТ-инфраструктуры, выявлять отклонения от штатного поведения и автоматизировать реагирование на угрозы. Российский рынок SIEM активно развивается в направлении локализации и импортозамещения, при этом отечественные решения наращивают функциональные возможности по автоматизации, аналитике и интеграции с другими средствами защиты. В статье представлены результаты сравнительного анализа трёх отечественных SIEM-решений – MaxPatrol SIEM, KUMA и RuSIEM – по критериям масштабируемости, гибкости ролевой модели, встроенных механизмов интеграции и производительности обработки потока данных. На основе установленных критериев обоснован выбор MaxPatrol SIEM для внедрения в корпоративную сеть организации с численностью около 1000 сотрудников и распределённой структурой. Результаты тестирования подтвердили значительное повышение оперативности выявления и устранения инцидентов, расширение охвата мониторинга за счёт увеличения объёма

обрабатываемых событий, а также повышение качества расследований благодаря более полному охвату инцидентов. Показано, что внедрение SIEM-системы обеспечивает централизацию управления событиями, автоматизацию процессов реагирования, повышение прозрачности ИТ-инфраструктуры и снижение операционных рисков, связанных с несоблюдением требований регуляторов.

Ключевые слова: SIEM-система, корпоративная сеть, информационная безопасность, мониторинг инцидентов, MaxPatrol SIEM

Abstract

Under the conditions of continuously increasing complexity of cyberattack vectors, ensuring reliable protection of corporate networks of large enterprises requires a transition from classical filtering systems to comprehensive monitoring and incident management tools. One such tool is SIEM (Security Information and Event Management) systems, which enable centralized collection, normalization, and analysis of IT infrastructure events, detection of deviations from normal behavior, and automated threat response. The Russian SIEM market is actively evolving toward localization and import substitution, with domestic solutions enhancing their functionality in automation, analytics, and integration with other security tools. This article presents the results of a comparative analysis of three domestic SIEM solutions – MaxPatrol SIEM, KUMA, and RuSIEM – based on the criteria of scalability, role-model flexibility, built-in integration mechanisms, and data stream processing performance. Based on the established criteria, the choice of MaxPatrol SIEM for deployment in the corporate network of an organization with approximately 1,000 employees and a distributed structure is substantiated. The test results confirmed a significant increase in the efficiency of incident detection and resolution, expanded monitoring coverage due to increased volume of processed events, as well as improved quality of investigations owing to more complete incident coverage. It is shown that the implementation of a SIEM system ensures centralized event management, automation of response processes, increased transparency of the IT infrastructure, and reduction of operational risks associated with non-compliance with regulatory requirements.

Keywords: SIEM, infrastructure, information protection, information security, Security Incident Monitoring, MaxPatrol SIEM

Введение

С растущими требованиями регуляторов к информационной безопасности (ИБ) все актуальнее становится необходимость своевременного выявления инцидентов, а также повышение устойчивости организации к внутренним и внешним угрозам [1]. Компании, обрабатывающие в том числе и конфиденциальную информацию, подвергаются атакам, направленным на кражу данных, компрометацию инфраструктуры и нарушение бизнес-процессов. Одним из эффективных инструментов обеспечения мониторинга и управления событиями ИБ на сегодняшний день является SIEM-система. Такие системы позволяют централизованно собирать, нормализовывать и анализировать события от различных элементов ИТ-инфраструктуры, выявлять отклонения от нормального поведения и автоматизировать реагирование на угрозы [2].

Под SIEM-системой обычно понимают не только сбор и обработку данных, но и оповещение оператора о возможной опасности. Блокирование угроз, помещение подозрительных файлов на карантин и прочие меры реагирования в их задачи не входят. Но в последнее время SIEM охватывает не только инструменты мониторинга и анализа, но и средства, способные выполнять автоматические ответные действия на выявленные угрозы [3, 4].

Сравнительный анализ отечественных SIEM-систем

В рамках данной работы была проведена сравнительная характеристика отечественных SIEM-систем: MaxPatrol SIEM, KUMA и RuSIEM. Эти продукты получили широкое распро-

странение благодаря адаптации под российские реалии, поддержке национальных стандартов и интеграции с другими отечественными средствами защиты. По результатам сравнительного анализа, приведенного в табл.1 для внедрения в корпоративную сеть была выбрана система MaxPatrol SIEM от компании Positive Technologies.

Таблица 1

Сравнительная характеристика отечественных SIEM-систем

Критерий	MaxPatrol SIEM	KUMA	RuSIEM
Производитель	Positive Technologies	Лаборатория Касперского	RuSIEM
Управление системой	Конфигурация компонентов осуществляется через командную строку с помощью конфигуратора	Конфигурация компонентов осуществляется через веб-консоль. Установка сервисов осуществляется через командную строку	Управление через командную строку
Масштабирование	Возможна установка дополнительных конвейеров(Server-Storage). Возможно построение иерархии площадок	Возможна установка дополнительных компонентов по отдельности (Collector, Storage, Correlator). Возможно построение иерархии площадок (в версии 3.0 отсутствует поддержка иерархии)	Масштабирование возможно, но иерархия площадок не поддерживается
Ролевая модель и разграничение доступа	Более гибкая настройка прав. Возможность создания кастомных ролей	Роли предопределены вендором. Нет возможности создать кастомную роль	Только предопределённые роли, кастомизация отсутствует
Проверка на соответствие стандартам	HCC (дополнительный компонент)	Отсутствует	Отсутствует
Модель хранения событий	Собственная модель	Модель на базе CEF с дополнительными полями	CEF с дополнительными полями, ограниченная гибкость
Интеграция с другими решениями вендора	Система управления уязвимостями, WAF, NTA, Sandbox, EDR, анализ ICS-трафика	Защита конечных узлов, шлюзы (mail и web), EDR, NTA+Sandbox (KATA), Threat Intelligence, защита ICS сегмента	Ограниченная интеграция, экосистема слабее
Количество обрабатываемых событий	До 540 тыс. событий в секунду	До 500 тыс. событий в секунду	До 300 тыс. событий в секунду

Ключевыми аргументами в пользу выбора данного решения являются:

1. Рыночная релевантность. Продукт входит в тройку лидеров российского рынка SIEM; совокупная доля альтернативных отечественных решений не превышает 6 %.

2. Гибкость ролевой модели. Поддерживается создание настраиваемых ролей и политик доступа с учётом организационной структуры (отделы ИБ, внутреннего аудита, филиалы), что обеспечивает дифференцированный контроль доступа к данным и журналам.

3. Поддержка иерархии площадок. Позволяет строить распределённую архитектуру: головной офис, региональные филиалы, удалённые серверы. Централизованный контроль при сохранении автономности регионов – важно для организаций с широкой географией.

4. Собственная модель хранения событий. Обеспечивает высокую производительность поиска и корреляции, а также адаптацию аналитики под бизнес-задачи (мошенничество, доступ к ПДн, контроль SLA).

5. Масштабируемость. Система допускает наращивание производительности по мере развития инфраструктуры без необходимости полной реконфигурации.

Кроме вышеперечисленных решений на рынке представлены и другие SIEM-платформы, включая SIEM Security Capsule от компании «ИТБ», решения от SearchInform, Zecurion, а также международные разработки с частичной локализацией. Однако доля этих решений в российском сегменте значительно уступает лидерам, особенно в условиях ограниченного доступа к зарубежным технологиям [5].

Общая характеристика предприятия

В данной статье рассмотрена информационная система страховой компании, основным направлением деятельности которой является предоставление услуг в сфере страхования жизни, имущества, ответственности и здоровья физических и юридических лиц. Общая численность сотрудников составляет около 1000 человек. Компания располагает центральным офисом, несколькими региональными представительствами, а также контактным центром для взаимодействия с клиентами. Внутри предприятия внедрена собственная информационная система для учета договоров и урегулирования убытков, функционирует клиентский портал и мобильное приложение. ИТ-инфраструктура включает локальную сеть для размещения серверов, а также DMZ-зону для размещения публичных сервисов.

Проведенная оценка безопасности показала, что текущая система информационной безопасности не обеспечивает необходимый уровень видимости и контроля за пользовательской активностью в сети. Были выявлены следующие проблемы: высокая трудоемкость администрирования системы информационной безопасности, сложность конфигурирования и настройки средств защиты, необходимость ручного реагирования на большое количество срабатываний систем безопасности, ограниченные возможности по оперативному управлению инцидентами.

В качестве решения вышеуказанных проблем было предложено внедрение SIEM-системы в корпоративную сеть для повышения прозрачности всей сетевой инфраструктуры предприятия.

Внедрение MaxPatrol SIEM

В рамках внедрения была использована модульная архитектура MaxPatrol SIEM, допускающая как концентрацию всех компонентов на одном сервере, так и их распределение по нескольким узлам, что обеспечивает гибкость масштабирования применительно к инфраструктуре любого масштаба [6].

Для развёртывания базовой конфигурации в условиях средненагруженной системы было задействовано два сервера. На первом сервере размещены компоненты MP 10 Core, Knowledge Base, PT MC и MP 10 Collector; на втором – MP SIEM Server и MP SIEM Events Storage.

Компоненты PT UCS и PT CP установлены на сервере MP SIEM Server, имеющем прямой доступ к сети Интернет для получения обновлений. В случае отсутствия такого доступа данные компоненты могут быть вынесены на отдельный узел с сетевым доступом.

Дополнительно в состав развёрнутой системы включены компоненты PT Retro Correlator, MP NAD Sensor и Behavioral Anomaly Detection (BAD), размещённые на трёх отдельных серверах. Данные модули не являются обязательными, однако их внедрение позволило повысить эффективность аналитической обработки событий и обнаружения аномалий.

В таблице 2 представлено распределение компонентов MaxPatrol SIEM по серверам.

Оценка эффективности работы SIEM-системы

Было проведено тестирование SIEM-системы на основе сбора событий с Linux-хоста и оценка эффективности внедрения программного продукта на основании количественных и качественных показателей. В таблице 3 представлены результаты оценки технической результативности внедрённой системы.

Таблица 2

Распределение компонентов MP SIEM по серверам

Компонент	Обязательный	Место установки					
		Сервер 1	Сервер 2	Сервер 3	Сервер 4	Сервер 5	Сервер 6
PT MC	Да	+	–	–	–	–	–
Knowledge Base	Да	+	–	–	–	–	–
MP 10 Core	Да	+	–	–	–	–	–
MP SIEM Events Storage	Да	–	+	–	–	–	–
MP SIEM Server	Да	–	+	–	–	–	–
MP 10 Collector	Да	+	–	–	–	–	–
PT UCS	Нет	+	–	–	–	–	–
PT RC	Нет	–	–	+	–	–	–
PT CP	Нет	+	–	–	–	–	–
MP NAD Sensor	Нет	–	–	–	+	–	–
BAD	Нет	–	–	–	–	+	–
Локальный сервер обновлений	Нет	–	–	–	–	–	+

Таблица 3

Сравнение количественных показателей эффективности работы системы защиты до и после внедрения SIEM

Количественный показатель	До внедрения SIEM	После внедрения SIEM
Среднее время обнаружения инцидента	12 ч.	15 мин.
Среднее время реагирования на инцидент	2 ч.	5 мин.
Количество событий, обрабатываемых в сутки	10000	1000000
Степень расследованных инцидентов	40%	90%

Увеличение числа обрабатываемых событий обусловлено подключением дополнительных источников логирования, а не ростом числа инцидентов.

В таблице 4 приведены результаты оценки качественных показателей эффективности функционирования SIEM-системы.

Благодаря автоматическому сбору и корреляции событий из различных источников в режиме реального времени значительно повысилась оперативность выявления инцидентов, что позволяет быстрее реагировать на них и приступать к их расследованию и устранению, а также минимизировать последствия и восстанавливать нормальную работу систем. Это позволяет сократить финансовые затраты, связанные со штрафами за приостановку деятельности и несоблюдение нормативных требований.

Таблица 4

Сравнение качественных показателей внедрения SIEM-системы

Качественный показатель	До внедрения SIEM	После внедрения SIEM
Единая точка сбора	Отдельные логи на разных устройствах, отсутствует централизованное хранение	Централизованное хранение событий на сервере хранения Event Storage
Соглашение об уровне обслуживания (SLA)	Контроль соблюдения осуществляется вручную или отсутствует	Встроенный механизм отслеживания сроков реагирования по SLA
Настройка времени хранения	Регламент хранения не соблюдается	Гибкая настройка времени хранения в соответствии с требованиями
Разграничение прав доступа к событиям	Отсутствует или реализовано неформально	Ролевая модель, разграничение прав доступа по функционалу и уровням компетенции
Явный жизненный цикл инцидента	Инциденты фиксируются вручную, не ведется единый учет	Каждый инцидент имеет карточку, отслеживается от регистрации до закрытия
Широта охвата источников событий	Только СЗИ (средства защиты информации), часть событий остается вне поля зрения	Подключены дополнительные источники: сервера, АРМ, контролер домена, база данных, почта, бизнес-приложения и др.

Заключение

Внедрение SIEM-системы представляет собой не просто технический проект, ограничивающийся установкой программного обеспечения, а стратегическую инициативу, направленную на преобразование подхода к управлению инцидентами информационной безопасности. С учётом растущей сложности кибератак, появления новых векторов проникновения (целевые фишинговые кампании, APT-группировки, внутренние инсайдерские угрозы) и ужесточающихся требований регуляторов, роль SIEM в информационной безопасности организаций становится критически важной.

В целом, внедрение MaxPatrol SIEM позволило добиться существенного повышения уровня защищённости ИТ-инфраструктуры. По итогам тестирования выявлено значительное повышение эффективности процессов информационной безопасности, что подтверждается ростом количественных показателей по ключевым критериям: скорость реагирования на инциденты, полнота хранения данных, качество отчётности, уровень автоматизации расследований.

Вместе с тем, в ходе эксплуатации были выявлены определённые ограничения: высокая сложность первоначальной настройки, требовательность к вычислительным ресурсам и значительная стоимость лицензирования. Данные ограничения не являются критическими, но должны учитываться на этапе проектирования архитектуры и оценки бюджета.

Список литературы

1. Хлестова Д. Р., Попов К. Г. Анализ актуальности использования SIEM-систем на предприятиях //Символ науки. – 2016. – №. 7-1. – С. 89-91. (дата обращения 16.05.2025).

2. Фуников В. В. SIEM-системы как надежный инструмент кибербезопасности // Посткризисный мир и модернизация современной науки: концепции, проблемы, решения. – 2021. – С. 45-48. (дата обращения 16.05.2025).

3. Файзулин Р. Ф., Демичев М. С. Роль SIEM-системы в обеспечении информационной безопасности // Решетневские чтения. – 2021. – С. 452-453. (дата обращения 16.05.2025).

4. Кирсанов Д. Г., Айдинян А. Р. Эффективное обеспечение безопасности с помощью SIEM //Молодой исследователь Дона. – 2024. – Т. 9. – №. 3. – С. 45-49. (дата обращения 17.05.2025).

5. Пролетарский А. В., Митьковский А. А., Пономарев А. Д. Применение SIEM-системы для защиты информационной инфраструктуры предприятия //Динамика сложных систем-XXI век. – 2018. – Т. 12. – №. 4. – С. 78-84. (дата обращения 19.05.2025).

6. База знаний: MP SIEM: архитектура платформы, ее возможности и преимущества // ИЕСофт [Электронный ресурс]. – URL: https://www.iesoft.ru/it/positive-technologies/maxpatrol-siem/?srsltid=AfmBOop_5WKpGgMTN0XPygg5hT-eizF3UHelMR1aj4HHIPq2SrNWPPc2 (дата обращения 21.05.2025).

УДК 004.056

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНОНИМНЫХ ИНТЕРНЕТ-ПЛАТФОРМ КАК ФАКТОР ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Сафиуллина Л.Х., к.т.н., доцент кафедры «Информационная безопасность»;
Ахмадиев Б.Т., студент Института управления, автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия;
E-mail: bahtiyur82@mail.ru

USE OF ANONYMOUS INTERNET PLATFORMS AS A FACTOR IN THE EMERGENCE OF INFORMATION SECURITY THREATS

Safiullina L.Kh., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Information Security;
Akhmadiev B.T., Student, Institute of Control, Automation, and Information Technology, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia;
E-mail: bahtiyur82@mail.ru

Аннотация

В статье конкретизируется проблема информационной безопасности, возникающая при использовании анонимных интернет-платформ: повышение конфиденциальности пользователя одновременно снижает возможность установить источник вредоносной активности, оперативно проверить распространяемую информацию и провести расследование инцидента. На основе анализа анонимных форумов, защищенных мессенджеров и платформ с повышенным уровнем конфиденциальности выделены связанные с этой проблемой угрозы: социальная инженерия, утечки конфиденциальной информации, распространение вредоносного программного обеспечения и информационные атаки. Предлагается комплексный подход к снижению риска, включающий оценку рисков до выбора уровня анонимности, многофакторную аутентификацию и разграничение доступа, обучение пользователей, централизованный мониторинг событий безопасности, резервное копирование, обнаружение подозрительной активности и регламент реагирования на инциденты. Особое внимание уделяется сохранению законной приватности пользователей: предлагаемые меры не предполагают отказ от анонимизации, а направлены на снижение рисков за счет контроля действий внутри информационной системы и анализа признаков угроз.

Ключевые слова: информационная безопасность, цифровая среда, интернет-платформы, анонимность, киберугрозы, защита информации, социальная инженерия, мониторинг, реагирование на инциденты

Abstract

This article is devoted to present the information security problem arising from the use of anonymous Internet platforms: increased user privacy simultaneously reduces the ability to identify the source of malicious activity, promptly verify distributed information, and investigate incidents. Based on an analysis of anonymous forums, secure messengers, and platforms with enhanced privacy, the article identifies the main related threats: social engineering, confidential information leaks, malware distribution, and information attacks. A comprehensive risk-reduction approach is proposed, including risk assessment, multi-factor authentication, access control, user training, security event monitoring, backup, anomaly detection, and incident response procedures. The proposed measures preserve legitimate user privacy while reducing security risks through control of actions within the protected information system and analysis of threat indicators.

Keywords: information security, digital environment, Internet platforms, anonymity, cyber threats, information protection, social engineering, monitoring, incident response

Современное развитие цифровых технологий приводит к постоянному увеличению количества информационных систем, интернет-сервисов и объемов обрабатываемых данных. Цифровизация различных сфер деятельности способствует повышению эффективности взаимодействия пользователей, организаций и государственных структур, однако одновременно формирует новые условия возникновения угроз информационной безопасности. В настоящее время защита информации рассматривается не только как задача технического характера, но и как комплексная деятельность, включающая организационные, правовые и управленческие меры.

Согласно Федеральному закону Российской Федерации №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», защита информации представляет собой совокупность мероприятий, направленных на предотвращение неправомерного доступа, уничтожения, изменения, блокирования и распространения информационных ресурсов [1]. При этом современные подходы к обеспечению информационной безопасности основываются на сохранении трех ключевых характеристик информации: конфиденциальности, целостности и доступности [3].

Одним из факторов, оказывающих влияние на развитие современных угроз, является распространение анонимных интернет-платформ. Подобные цифровые сервисы позволяют пользователям осуществлять коммуникацию с ограниченным раскрытием персональных данных, использовать защищенные каналы передачи информации и контролировать уровень цифровой идентичности.

При этом основная проблема для информационной безопасности заключается не в самой возможности анонимного общения, а в снижении наблюдаемости действий пользователя. Чем меньше идентификационной информации доступно о субъекте взаимодействия, тем сложнее установить источник подозрительной активности, своевременно обнаружить инцидент и провести его расследование. В результате возникает следующая причинно-следственная связь: анонимность снижает наблюдаемость действий, снижение наблюдаемости усложняет обнаружение и атрибуцию угрозы, увеличение времени реагирования повышает потенциальный ущерб.

Технологии анонимизации имеют двойственный характер. С одной стороны, они являются важным инструментом защиты персональных данных и обеспечения права пользователей на конфиденциальность. С другой стороны, высокий уровень скрытности участников цифрового взаимодействия может создавать дополнительные риски для информационной

безопасности, поскольку затрудняет выявление источников угроз и проведение расследований.

В научной литературе отмечается, что современные киберугрозы становятся более сложными и часто связаны не только с техническими уязвимостями информационных систем, но и с человеческим фактором, особенностями поведения пользователей и недостаточным уровнем цифровой грамотности [4, с. 32]. Именно поэтому исследование влияния анонимных интернет-платформ на безопасность информационного пространства является актуальным направлением.

Анонимные интернет-платформы можно условно разделить на несколько основных категорий: анонимные форумы, защищенные мессенджеры и сервисы с повышенным уровнем конфиденциальности. Каждая из данных категорий обладает собственными особенностями функционирования и потенциальными рисками.

Анонимные форумы представляют собой цифровые площадки, предназначенные для обмена сообщениями и информацией между пользователями. Основным преимуществом таких ресурсов является возможность свободного общения без обязательного раскрытия личности. Однако отсутствие строгой идентификации пользователей может приводить к распространению недостоверной информации, усложнению контроля содержания и повышению вероятности возникновения информационных рисков.

Защищенные мессенджеры ориентированы на обеспечение конфиденциального обмена сообщениями. Для повышения уровня безопасности в них применяются криптографические методы защиты информации. Использование современных механизмов шифрования позволяет снизить вероятность несанкционированного доступа к данным пользователей [6, с. 74]. Вместе с тем высокая степень приватности может затруднять анализ подозрительной активности и установление источников угроз.

Платформы с повышенным уровнем конфиденциальности направлены на минимизацию цифровых следов пользователей и снижение возможности отслеживания их активности. Данные технологии находят применение в различных сферах, где требуется защита персональной информации, однако одновременно требуют разработки дополнительных механизмов контроля информационных рисков.

Одной из наиболее распространенных угроз, связанных с использованием анонимных интернет-платформ, является социальная инженерия. Ее особенностью является воздействие на пользователя с целью получения доступа к конфиденциальным данным или информационным ресурсам. В отличие от традиционных технических атак, социальная инженерия использует психологические особенности человека: доверие, невнимательность и недостаточную осведомленность в вопросах безопасности [7, с. 115]. Анонимный канал дополнительно усложняет проверку личности отправителя и повышает вероятность того, что пользователь будет взаимодействовать с неизвестным субъектом.

Существенную угрозу также представляют утечки конфиденциальной информации. Причинами возникновения подобных инцидентов могут быть ошибки сотрудников, недостаточный контроль доступа, отсутствие актуальных механизмов защиты или действия злоумышленников. В условиях анонимного взаимодействия установить источник передачи информации может быть сложнее, поэтому последствия утечки способны проявляться в финансовых потерях, снижении репутации организации и нарушении прав пользователей.

Анонимные цифровые платформы могут использоваться и для распространения вредоносного программного обеспечения. Вредоносные файлы, ссылки на зараженные ресурсы и методы социальной инженерии позволяют злоумышленникам получать доступ к информационным системам. Особенность такой угрозы заключается в сложности установления источника распространения и определения ответственных лиц. Поэтому защита должна строиться не только на попытке идентифицировать отправителя, но и на обнаружении опасного содержимого и подозрительных действий на конечных устройствах.

Отдельное значение имеют репутационные угрозы. Распространение недостоверной информации, проведение информационных атак и формирование негативного общественного мнения способны нанести значительный ущерб организациям. В условиях высокой скорости распространения цифровой информации подобные угрозы требуют постоянного мониторинга информационной среды.

Для решения выявленной проблемы предлагается комплексная модель защиты, не предполагающая полного отказа от анонимных платформ. Ее основная идея состоит в компенсации снижения идентифицируемости пользователя за счет контроля действий внутри защищаемой информационной системы. Модель включает четыре взаимосвязанных направления: профилактику, контроль, обнаружение и реагирование.

На этапе профилактики необходимо определить, какие данные и информационные ресурсы могут быть затронуты взаимодействием через внешние платформы, классифицировать информацию и установить правила ее передачи. Одновременно необходимо проводить обучение сотрудников по вопросам социальной инженерии, безопасной работы со ссылками и недопустимости передачи учетных данных. Такой подход соответствует принципам системы управления информационной безопасностью, основанной на оценке рисков и постоянном совершенствовании защитных механизмов [2].

На этапе контроля необходимо применять многофакторную аутентификацию, разграничение прав доступа и принцип минимально необходимых полномочий. Если учетная запись пользователя будет скомпрометирована через анонимный канал, заранее ограниченные права должны минимизировать возможный ущерб. Резервное копирование необходимо для восстановления информации после инцидентов.

На этапе обнаружения следует регистрировать события безопасности и выявлять отклонения от обычного поведения. К признакам подозрительной активности могут относиться необычные попытки доступа, резкое изменение характера обращений к ресурсам, множественные ошибки аутентификации и другие события, определенные политикой безопасности организации. Системы обнаружения вторжений и автоматизированный анализ событий позволяют сократить время выявления угроз.

На этапе реагирования должен действовать заранее установленный регламент: фиксация события, ограничение скомпрометированной учетной записи или устройства, сохранение необходимых данных для анализа, устранение причины инцидента, восстановление работоспособности и последующий пересмотр защитных мер. Таким образом, даже если установить реальную личность пользователя невозможно, организация сохраняет возможность контролировать последствия его действий внутри собственной инфраструктуры.

Практически предложенный подход может быть реализован в следующей последовательности: определить защищаемые ресурсы; классифицировать информацию; ограничить права пользователей; включить многофакторную аутентификацию; обеспечить защиту конечных устройств и резервное копирование; организовать обучение сотрудников; настроить мониторинг событий и обнаружение аномалий; закрепить порядок реагирования и регулярно пересматривать его после инцидентов.

Современное развитие технологий искусственного интеллекта оказывает значительное влияние на сферу информационной безопасности. С одной стороны, искусственный интеллект позволяет совершенствовать методы обнаружения угроз, анализировать большие объемы данных и выявлять подозрительную активность. С другой стороны, данные технологии могут использоваться для автоматизации проведения атак и повышения их эффективности. Поэтому ИИ целесообразно использовать как дополнительный инструмент мониторинга, не заменяющий организационные меры, разграничение доступа и контроль со стороны специалистов.

Таким образом, анонимные интернет-платформы являются важным элементом современной цифровой среды. Их использование создает угрозу информационной безопасности не

потому, что анонимность сама по себе является вредоносной, а потому, что она снижает наблюдаемость действий пользователей и усложняет обнаружение, атрибуцию и расследование инцидентов. Для снижения риска предлагается не отказываться от технологий приватности, а компенсировать их влияние посредством многоуровневого контроля: профилактики, разграничения доступа, многофакторной аутентификации, мониторинга, обнаружения аномалий и регламентированного реагирования.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка количественной модели оценки риска для различных типов анонимных платформ, развитие интеллектуальных систем мониторинга угроз и исследование оптимального баланса между обеспечением приватности пользователей и возможностями информационной безопасности.



Рис. 1. Комплексная система обеспечения информационной безопасности организации

Таблица 1

Сравнительная характеристика анонимных интернет-платформ

Тип платформы	Основная функция	Преимущества	Риски
Анонимные форумы	Обмен сообщениями	Свобода коммуникации	Сложность контроля информации и установления источника
Защищенные мессенджеры	Конфиденциальная связь	Защита данных	Затруднение анализа подозрительной активности
Приватные платформы	Защита цифровой идентичности	Повышенная конфиденциальность	Усложнение обнаружения и расследования инцидентов

Список литературы

1. Федеральный закон Российской Федерации от 27.07.2006 №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» (ред. от 12.12.2023) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/ (дата обращения: 28.06.2026).

2. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements. Geneva: International Organization for Standardization, 2022. 30 p.

3. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2008. 12 с.

4. Зегжда, Д. П. Основы безопасности информационных систем : учебное пособие / Д. П. Зегжда, А. М. Ивашко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2019. – 452 с.

5. Столлингс, У. Криптография и защита сетей: принципы и практика / У. Столлингс. – М.: Вильямс, 2018. – 592 с.

6. Schneier, B. Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C / B. Schneier. – Indianapolis: Wiley, 2015. – 784 p.

7. Anderson, R. Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems / R. Anderson. – 3rd ed. – Indianapolis: Wiley, 2020. – 1184 p.

8. Mitnick, K. D. The Art of Deception: Controlling the Human Element of Security / K. D. Mitnick, W. L. Simon. – Indianapolis: Wiley Publishing, 2002. – 352 p.

9. Котенко, И. В. Методы и средства обеспечения кибербезопасности компьютерных систем / И. В. Котенко, И. Б. Саенко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2019. – 304 с.

10. ENISA Threat Landscape 2023 [Электронный ресурс]. URL: https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2023 (дата обращения: 28.06.2026).

УДК 004.72:004.738.5:621.391

МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ IOT-УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ПРОТОКОЛА LORAWAN

Сафиуллина Л.Х., к.т.н., доцент;
Краснова К.А., студент, лаборант;
Фатхетдинов К.Н., студент кафедры «Информационная безопасность» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»; г. Казань, Россия

SECURITY TESTING METHODOLOGY FOR LORAWAN-BASED IOT DEVICES

Safiullina L. Kh., Ph.D. in Engineering, Associate Professor;
Krasnova K.A., student, laboratory assistant;
Fatkhetdinov K.N., student, Department of Information Security, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматривается проблема обеспечения информационной безопасности устройств IoT (Internet of Things), функционирующих в энергоэффективных сетях стандарта LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). Проведён систематический анализ угроз с применением методологии STRIDE, на основе которого выявлены и классифицированы основные векторы атак. Спроектирован испытательный стенд на базе сетевого сервера ChirpStack с использованием контейнеризации Docker и разработан набор Python-скриптов для эмуляции атак. По результатам исследования сформулированы рекомендации по внедрению механизмов ограничения частоты запросов для повышения надежности реальных IoT-систем.

Ключевые слова: Интернет вещей, LoRaWAN, информационная безопасность, тестирование на проникновение, испытательный стенд, ChirpStack

Abstract

This article is devoted to investigate the issue of ensuring the information security of Internet of Things (IoT) devices operating in energy-efficient networks of the LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) standard. A systematic threat analysis was conducted using the STRIDE methodology, providing a basis for identifying and classifying primary attack vectors. A testbed based on the

ChirpStack network server was designed using Docker containerization, and a suite of Python scripts was developed to emulate attacks. Based on the findings of the study, recommendations were formulated for implementing rate-limiting mechanisms to enhance the reliability of real-world IoT systems.

Keywords: Internet of Things, LoRaWAN, information security, penetration testing, testbed, ChirpStack

Введение

Безопасность сетей LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) опирается на алгоритм AES-128 и механизмы контроля сессий MAC-протокола (Media Access Control). Однако использование спецификаций LoRaWAN 1.0.x, отсутствие дистанционного обновления прошивок и ошибки конфигурации повышают риски компрометации мастер-ключей, атак повтора нонсов и DoS-воздействий на этапе беспроводной активации.

Существующие инструментальные средства сетевого аудита и тестирования на проникновение ориентированы преимущественно на классический стек протоколов TCP/IP. Они не позволяют проводить специализированную проверку механизмов аутентификации и устойчивости сетевых серверов LoRaWAN без использования дорогостоящего аппаратного обеспечения, таких как многоканальные SDR-трансиверы и специализированные радиолаборатории.

Целью данной работы является разработка и практическая апробация автоматизированной методики тестирования безопасности сетевой инфраструктуры LoRaWAN на базе программно-конфигурируемого стенда (Docker/ChirpStack v4), позволяющего без использования радиооборудования эмулировать векторы атак на уровнях MAC и OTAA (Over-the-Air Activation), а также оценивать устойчивость сетевого сервера к DoS-воздействиям.

Анализ архитектуры и безопасности протокола LoRaWAN

Архитектура LoRaWAN спроектирована по принципу «звезда звезд» (рис. 1). Сеть LoRaWAN включает четыре основных компонента: конечное устройство (End Device), шлюз (Gateway), сетевой сервер (Network Server, NS) и сервер приложений (Application Server). Взаимодействие между компонентами осуществляется по двум принципиально различным каналам: беспроводному радиоканалу между устройством и шлюзом, а также проводному или мобильному IP-каналу между шлюзом и серверной инфраструктурой.

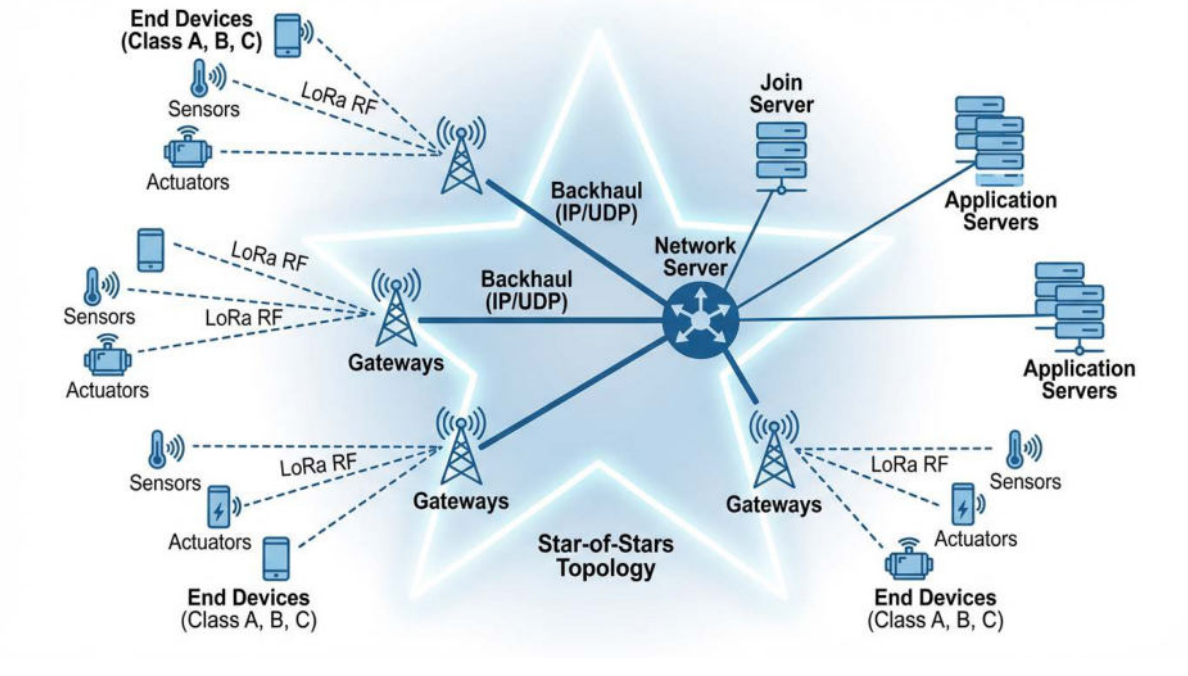


Рис. 1. Логическая архитектура и потоки данных в сети LoRaWAN

Безопасность в сетях LoRaWAN базируется на использовании симметричного шифрования AES-128, которое интегрировано в MAC-слой протокола. Основная архитектурная идея заключается в обеспечении двух независимых уровней защиты. Первый уровень – сетевой – гарантирует, что только легитимные устройства могут передавать данные в сеть, и что эти данные не были изменены в процессе передачи. Второй уровень – прикладной – обеспечивает сквозное шифрование полезной нагрузки от датчика до сервера приложений.

Также для безопасности важна система ключей. В её основе лежит корневой ключ приложения – AppKey. Его записывают в устройство ещё на заводе или при настройке. Когда проходит активация, на его базе создаются сессионные ключи: NwkSKey (Network Session Key) и AppSKey (Application Session Key). NwkSKey используется сетевым сервером для расчета и проверки MIC и шифрования команд управления MAC-уровня. AppSKey предназначен исключительно для шифрования полезной нагрузки пользователя [1]. В спецификации LoRaWAN 1.1 роль сервера была усилена введением Join Server – отдельной сущности, которая отвечает за хранение корневых ключей и генерацию сессионных ключей, что позволяет разделить функции управления сетью и функции управления безопасностью [2].

В режиме OTAA устройство и сеть динамически согласовывают сессионные ключи при каждом новом подключении. Процесс начинается с отправки Join-Request, который содержит DevEUI, AppEUI и случайное число DevNonce. В ответ сервер присылает Join-Accept, содержащий AppNonce, NetID, DevAddr и параметры настройки канала. На основе этих данных обе стороны вычисляют NwkSKey и AppSKey. Критически важным элементом здесь является DevNonce – счетчик или случайное число, которое никогда не должно повторяться. Если устройство отправит Join-Request с уже использованным DevNonce, сервер обязан отклонить запрос. Это защищает сеть от атак повтора, когда злоумышленник записывает легитимный запрос на присоединение и пытается воспроизвести его позже, чтобы вызвать перегенерацию ключей и разрыв текущей сессии [3].

В спецификации LoRaWAN 1.1 механизм OTAA был значительно усилен. Были введены два типа Nonce: JoinNonce со стороны сервера и DevNonce со стороны устройства, причем оба теперь являются строго инкрементируемыми счетчиками. Это исключает коллизии, возможные при использовании плохих генераторов случайных чисел. Кроме того, была введена процедура Rejoin-Request, позволяющая устройству обновлять ключи без полной потери контекста сессии.

Пакет Join-Accept шифруется ключом AppKey (или NwkKey в версии 1.1), поэтому пассивный перехватчик не может извлечь параметры сессии. Но если AppKey будет извлечён из памяти устройства, вся защита OTAA теряет смысл – злоумышленник сможет самостоятельно вычислить любые последующие сессионные ключи.

Защиту от повторного воспроизведения пакетов обеспечивают 16- или 32-битные счётчики кадров (FCnt). Каждое сообщение несёт порядковый номер, который увеличивается после каждой отправки. Сервер хранит последнее значение FCnt для каждого устройства и игнорирует пакеты с меньшим или равным номером. Проблема возникает при сбросе питания или программной ошибке: многие устройства обнуляют счётчик, и, если сервер не предусматривает обработку такой ситуации, устройство оказывается заблокированным. Для ABP (Activation by Personalization) эта проблема особенно остра – ключи не обновляются, и сброс счётчика позволяет атакующему воспроизводить старые пакеты, пока устройство не «догонит» прежнее значение. Современные реализации рекомендуют сохранять FCnt в энергонезависимой памяти [4].

Анализ угроз и уязвимостей протокола LoRaWAN

Для систематизации угроз применяется модель STRIDE, в которой каждая буква аббревиатуры соответствует классу угроз: Spoofing (подмена), Tampering (нарушение целостности), Repudiation (отказ от авторства), Information Disclosure (раскрытие информации), Denial of Service (отказ в обслуживании), Elevation of Privilege (повышение привилегий). Применение

данной модели к протоколу LoRaWAN позволяет систематически выявить угрозы на каждом уровне взаимодействия (табл. 1) [5].

Таблица 1

Модель угроз STRIDE применительно к LoRaWAN

Класс угрозы	Применительно к LoRaWAN	Компонент
Spoofing	Отправка фреймов от имени легитимного устройства с поддельным DevEUI	Устройство, NS
Tampering	Модификация зашифрованного FRMPayload (Bit-Flipping)	Радиоканал
Repudiation	Отсутствие привязки фрейма к устройству без проверки MIC	NS
Information Disclosure	Перехват метаданных: DevAddr, FCnt, время, RSSI	Радиоканал
Denial of Service	Join Request Flood, глушение радиоканала	NS, шлюз
Elevation of Privilege	Получение сессионных ключей при компрометации AppKey	Устройство

Модель нарушителя, принятая в данной работе, предполагает наличие у злоумышленника следующих возможностей: пассивный перехват радиопакетов с использованием программно-определяемого радио (SDR); активная передача произвольных LoRa-пакетов с помощью SDR-передатчика или программного эмулятора; отсутствие доступа к секретным ключам устройства (AppKey, NwkSKey, AppSKey). Данная модель соответствует угрозам со стороны внешнего нарушителя, не имеющего физического доступа к устройству [6].

Исходя из принятой модели нарушителя и возможностей программно-конфигурируемого стенда, из матрицы STRIDE для практической эмуляции выделены четыре целевых вектора атак:

На уровне процедуры активации – Join Request Flood, заключающийся в массовой отправке запросов на присоединение от имени легитимного устройства с различными значениями DevNonce с целью создания вычислительной нагрузки на NS и вытеснения легитимного устройства из сети.

Вектор повторного использования DevNonce, эксплуатирующий уязвимость реализаций NS, не сохраняющих список использованных нонсов между перезапусками.

На уровне передачи данных – Replay-атака по счетчику FCnt. Злоумышленник перехватывает легитимный uplink-фрейм и повторно отправляет его в сеть. Сетевой сервер обязан отклонять фреймы, в которых значение FCnt не превышает последнего принятого значения.

Атака Bit-Flipping, направленная на нарушение целостности передаваемых данных. Поскольку LoRaWAN использует режим AES-CTR для шифрования FRMPayload, изменение одного бита в шифртексте приводит к изменению соответствующего бита в открытом тексте. Целостность данных защищается полем MIC, вычисляемым по алгоритму AES-128 CMAC с использованием ключа NwkSKey.

Формирование алгоритмов проверки устойчивости к типовым атакам

Для каждого из четырёх рассматриваемых векторов атак разработан формализованный алгоритм проверки, включающий последовательность действий, ожидаемую реакцию NS и критерий оценки результата.

Алгоритм проверки защиты от Join Request Flood предусматривает отправку N запросов Join Request с последовательными значениями DevNonce в течение короткого интервала времени. После завершения флуда отправляется легитимный Join Request. Критерий успеш-

ной защиты: NS не деградирует в процессе обработки флуда, легитимный Join принимается корректно.

Алгоритм проверки защиты от DevNonce Reuse заключается в отправке легитимного кадра Join-Request со значением DevNonce, с последующей повторной отправкой идентичного запроса с тем же DevNonce. Критерий успешной защиты: отклонение повторного запроса сетевым сервером и сохранение текущей активной сессии.

Алгоритм проверки защиты от Replay-атаки состоит из трёх шагов. На первом шаге формируется и отправляется корректный uplink-фрейм с FCnt = N; фиксируется факт принятия фрейма NS. На втором шаге тот же фрейм отправляется повторно без изменений; ожидаемая реакция NS – отклонение с ошибкой FCnt. На третьем шаге отправляется фрейм с FCnt < N (откат счётчика). Критерий успешной защиты: оба повторных фрейма отклонены с фиксированием ошибки в журнале.

Алгоритм проверки защиты от Bit-Flipping также состоит из трех шагов. На первом шаге формируется корректный uplink-фрейм с валидным MIC. На втором шаге в поле FRMPayload инвертируется один байт (XOR с маской 0xAA) и отправляется в NS. На третьем шаге инвертируется последний байт поля MIC. Критерий успешной защиты: оба модифицированных фрейма отклонены NS по ошибке несовпадения MIC

Реализация стенда и экспериментальное исследование

Испытательный стенд развёртывается полностью локально на одном хосте под управлением ОС Linux. Все серверные компоненты запускаются в изолированных Docker-контейнерах, управляемых через Docker Compose. Взаимодействие Python-скриптов с инфраструктурой осуществляется через стандартные сетевые интерфейсы: UDP-порт 1700 (Semtech Packet Forwarder) и REST API на порту 8090. Архитектура стенда описана на рис. 2.

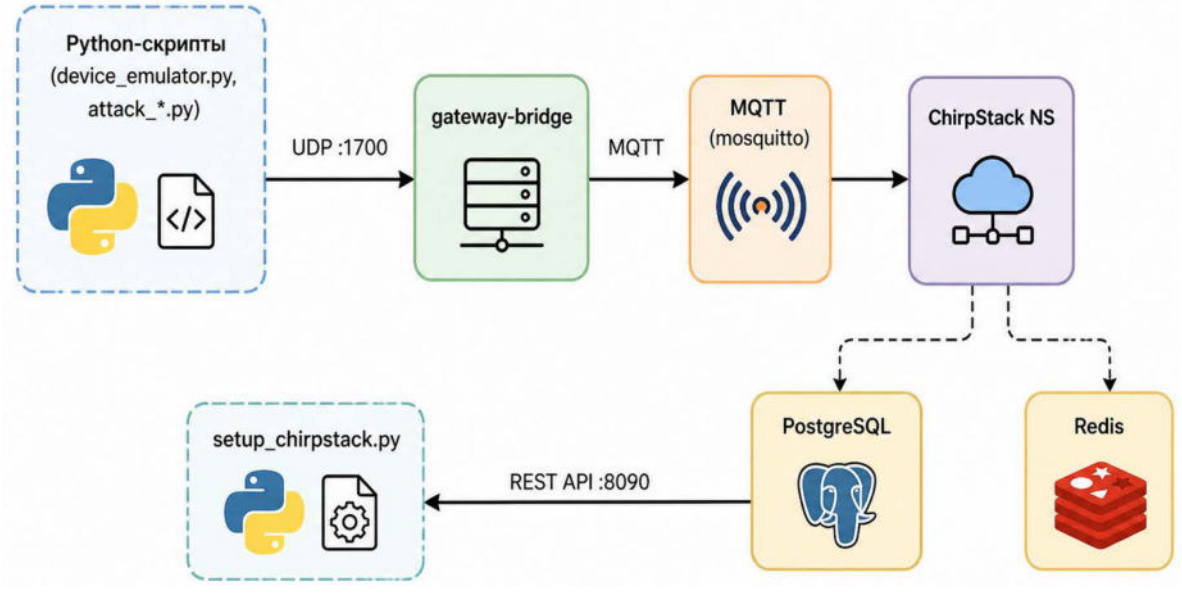


Рис. 2. Архитектура испытательного стенда

Сервис chirpstack (образ chirpstack/chirpstack:4.9.0) реализует функции сетевого сервера: обработку uplink-фреймов, проверку MIC, управление сессиями устройств, хранение DevNonce. Сервис chirpstack-gateway-bridge транслирует пакеты протокола Semtech UDP в сообщения MQTT, публикуемые в топики вида eu868/gateway/{EUI}/event/up. Брокер Mosquitto обеспечивает обмен сообщениями между gateway-bridge и NS. PostgreSQL хранит постоянные данные: устройства, профили, использованные DevNonce, метрики. Redis используется для хранения активных device-session и кэширования. Параметры экспериментальной конфигурации стенда приведены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальная конфигурация

Параметр	Значение
DevEUI	0000000000000002
JoinEUI (AppEUI)	0000000000000001
AppKey	00000000000000000000000000000001
DevAddr (ABP)	01020304
NwkSKey	2B7E151628AED2A6ABF7158809CF4F3C
AppSKey	2B7E151628AED2A6ABF7158809CF4F3D
Gateway EUI	0102030405060708
Регион / частота	EU868 / 868.1 МГц, SF7BW125

Все сервисы объединены в изолированную виртуальную сеть chirpstack_network с внутренним DNS Docker, что исключает сетевые задержки хостовой ОС (рис. 3).

```
NAME                              IMAGE                                COMMAND                  SERVICE          STATUS    PORTS
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
lorawan-attacks-chirpstack-1      chirpstack/chirpstack:4              "/entrypoint.sh"         chirpstack       Up        0.0.0.0:8080->8080/tcp
lorawan-attacks-gateway-bridge-1  chirpstack/gateway-bridge:latest     "/gateway-bridge"        gateway-bridge   Up        0.0.0.0:1700->1700/udp
lorawan-attacks-mosquitto-1       eclipse-mosquitto:2                  "docker-entrypoint.s…"   mosquitto        Up        0.0.0.0:1883->1883/tcp
lorawan-attacks-postgres-1        postgres:15                          "docker-entrypoint.s…"   postgres         Up        0.0.0.0:5432->5432/tcp
lorawan-attacks-redis-1           redis:7                              "docker-entrypoint.s…"   redis            Up        0.0.0.0:6379->6379/tcp
lorawan-attacks-chirpstack-rest-1 curlimages/curl:8.5.0                "sleep infinity"         chirpstack-rest  Up        -
```

Рис. 3. Статус контейнеров испытательного стенда

Эксперимент 1: валидация штатного режима.

Скрипт device_emulator.py сформировал Join-Request (рис. 4), где DevNonce = 0x0042, вычислил MIC на основе AppKey и передал пакет через эмулируемый шлюз. После этого были отправлены три uplink-фрейма с температурными значениями («temp=20C», «temp=21C», «temp=22C»). Они зашифрованы ключом AppSKey. Журнал ChirpStack (рис. 5) подтвердил успешную регистрацию устройства и обработку поступающих кадров.

```
[DEV] Starting device emulator
[DEV] DevEUI: 0011223344556677
[DEV] AppEUI: 70B3D57ED0000001
[DEV] Sending Join Request ...
[DEV] Join Request hex: 40 00 00 00 00 12 34 56 77 88 00 00 01 D0 7E D5 B3 70 00 00 00 00 00 00
[GW] sent 23 bytes.
[DEV] Join Request sent, waiting for Join Accept ...
[DEV] Join Accept received
[DEV] Uplink #0: 01 02 03 04
[GW] sent 23 bytes.
[DEV] Uplink #1: 05 06 07 08
[GW] sent 23 bytes.
[DEV] Uplink #2: 09 0A 0B 0C
[GW] sent 23 bytes.
[DEV] Next uplink in 5 seconds ...
```

Рис. 4. Вывод эмулятора легитимного устройства

```
time="2026-05-02T14:21:03Z" level=info msg="starting ChirpStack Network Server" docUrl="https://www.chirpstack.io/docs/"
time="2026-05-02T14:21:03Z" level=info msg="selected region" region="EU_863_870"
time="2026-05-02T14:21:03Z" level=info msg="starting gateway backend"
time="2026-05-02T14:21:03Z" level=info msg="starting network controller"
time="2026-05-02T14:21:03Z" level=info msg="starting application session service"
time="2026-05-02T14:21:03Z" level=info msg="starting join server"
time="2026-05-02T14:21:152" level=info msg="Join-request received"
                            dev_eui=0011223344556677 app_eui=70B3D57ED00001
                            dev_nonce=0x0000 gateway_id=0102030405060708
time="2026-05-02T14:21:15Z" level=info msg="Device-nonce validated"  dev_eui=0011223344556677 dev_nonce=0x0000
time="2026-05-02T14:21:15Z" level=info msg="Join-accept created"     dev_eui=0011223344556677
time="2026-05-02T14:21:152" level=info msg="Join-accept scheduled"   dev_eui=0011223344556677
time="2026-05-02T14:21:15Z" level=info msg="Join procedure succeeded" dev_eui=00112233445556677
                            dev_addr=26011BDA app_s_key_id=1 nwk_s_key_id=1
time="2026-05-02T14:21:202" level=info msg="Uplink frame received"   dev_euii=00112233445556677
                            dev_addr=26011BDA f_cnt=0 f_port=1       adr=true
time="2026-05-02T14:21:25Z" level=info msg="Uplink frame received"   dev_euii=00112233445556677
                            dev_addr=26011BDA f_cnt=1 f_port=1       adr=true
time="2026-05-02T14:21:302" level=info msg="Uplink frame received"   dev_euii=00112233445556677
                            dev_addr=26011BDA f_cnt=2 f_port=1       adr=true
```

Рис. 5. Журнал ChirpStack: обработка легитимного Join Request

Эксперимент 2: эмуляция Replay-атаки по счетчику FCnt.

Скрипт attack_replay.py имитирует повторную отправку уже использованных данных. Сначала отправляется корректный uplink-фрейм (FCnt=5), затем он повторяется, а после этого идет еще один фрейм с откатом счетчика до (FCnt=1). Сервер отклонил повторные кадры, подтвердив корректность работы встроенных механизмов контроля монотонности счетчика FCnt.

Эксперимент 3: Flood по Join Request'ам

Скрипт attack_join_flood.py эмулировал сценарий скомпрометированного корневого ключа AppKey. В процессе эксперимента осуществлялась генерация потока из 20 запросов на активацию с интервалом 100 мс и последовательным варьированием DevNonce от 0x0000 до 0x0013.

Поскольку MIC корректно рассчитывался на основе известного AppKey, сетевой сервер ChirpStack v4.9.0 идентифицировал входящие пакеты как валидные. Анализ системного журнала показал, что сервер осуществляет последовательную переинициализацию сессии устройства на каждый поступающий запрос.

Отсутствие встроенных механизмов ограничения частоты запросов на этапе активации приводит к непрерывному сбросу параметров сессии, что позволяет атакующему вызвать десинхронизацию сессионных ключей и реализовать отказ в обслуживании (DoS) для легитимного оконечного устройства.

Эксперимент 4: Bit-Flipping (подмена битов)

Скрипт attack_bitflip.py эмулировал модификацию перехваченного Uplink-кадра с порядковым номером FCnt = 10. В рамках первого этапа осуществлялась побитовая инверсия первого байта зашифрованной полезной нагрузки FRMPayload с применением маски XOR 0xAA. На втором этапе сохранялась исходная полезная нагрузка, но инвертировался последний байт кода целостности сообщения MIC.

Алгоритм обработки входящих кадров сетевым сервером предусматривает первоначальную проверку наличия активного сессионного контекста (при отсутствии которого фиксируется исключение No device-session exists), после чего выполняется перерасчет алгоритма AES-128 CMAC. В обоих контрольных случаях расхождение вычисленного и переданного значений MIC привело к безусловному отбрасыванию искаженных фреймов сетевым сервером.

Результаты эксперимента подтверждают корректность работы штатных механизмов обеспечения целостности данных протокола LoRaWAN.

Эксперимент 5: Повторное использование DevNonce

Скрипт attack_devnonce_reuse.py эмулировал повторную активацию устройства с использованием ранее зафиксированного значения DevNonce = 0x0042. В рамках сценария осуществлялась двухкратная отправка идентичного кадра Join-Request.

Первичный запрос обрабатывается сетевым сервером с учетом текущего состояния реестра устройств, тогда как повторный запрос с дублирующимся нонсом безусловно блокируется сервером. В системном журнале ChirpStack (рис. 6) фиксируется критическое исключение вида ERROR Handle join-request error error=Invalid DevNonce, а транзакция отклоняется. Результаты теста подтверждают корректность реализации требований спецификации LoRaWAN по предотвращению атак повтора на этапе беспроводной активации за счет персистентного сохранения использованных DevNonce (рис. 7).

```
time="2026-05-02T14:35:42Z" level=info msg="stating join server"
time="2026-05-02T14:36:10Z" level=info msg="Join-request received"
                            dev_eui=0011223344556677 app_eui=70B3D57ED0000001
                            dev_nonce=0x0000 gateway_id=0102030405060708
time="2026-05-02T14:36:10Z" level=info msg="Device-nonce validated"  dev_eui=0011223344556677 dev_nonce=0x0000
time="2026-05-02T14:36:10Z" level=info msg="Join-accept created"     dev_eui=0011223344556677
time="2026-05-02T14:36:10Z" level=info msg="Join procedure succeeded" dev_eui=0011223344556677
time="2026-05-02T14:36:12Z" level=info msg="Uplink frame received"   dev_eui=0011223344556677
                            dev_addr=26011BDA f_cnt=0 f_port=1       adr=true
time="2026-05-02T14:37:05Z" level=info msg="Join-request received"
                            dev_eui=0011223344556677 app_eui=70B3D57ED0000001
                            dev_nonce=0x0000 gateway_id=0102030405060708
time="2026-05-02T14:37:05Z" level=error msg="ERROR Handle join-request error"  error="Invalid DevNonce"
                            dev_eui=0011223344556677 dev_nonce=0x0000
time="2026-05-02T14:37:05Z" level=error msg="Rejecting join-request"  reason="invalid_dev_nonce"
                            dev_eui=0011223344556677 dev_nonce=0x0000
time="2026-05-02T14:37:05Z" level=info msg="Join-request discarded"
                            dev_eui=0011223344556677 dev_nonce=0x0000
```

Рис. 6. Журнал ChirpStack: отклонение Join Request с повторным DevNonce

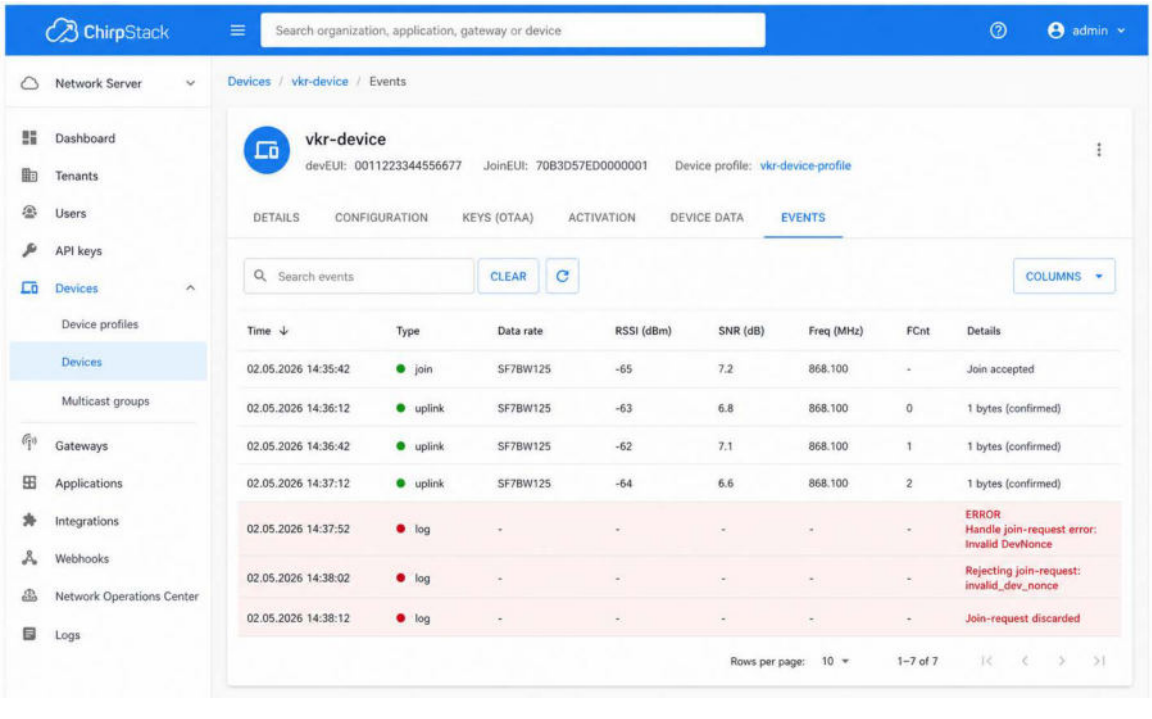


Рис. 7. События устройства в веб-интерфейсе ChirpStack

Итоговые результаты выполнения автоматизированного комплекса тестов представлены на рис. 8. Все пять сценариев были успешно пройдены. Сервер корректно принял легитимное подключение, а также заблокировал все вредоносные пакеты с повторным DevNonce и поддельным кодом MIC (по 5 отклоненных запросов из 5 в каждом тесте). Единственным уязвимым местом оказался тест на Join Request Flood. Сетевой сервер без ошибок обработал все 200 сгенерированных запросов за 10 секунд, это подтверждает отсутствие механизма Rate Limiting и возможность проведения DoS-атаки при компрометации AppKey.

```
[2026-05-02 15:02:11] [INFO] Starting security test suite for LoRaWAN network
[2026-05-02 15:02:11] [INFO] Target Network Server: http://chirpstack:8080
[2026-05-02 15:02:11] [INFO] Tests to run: 5
[2026-05-02 15:02:11] [INFO] ------------------------------------------------
[2026-05-02 15:02:12] [TEST 1/5] Legitimate device join and uplink ..... OK (00:00:06)
[2026-05-02 15:02:18] [TEST 2/5] Join Request Flood ..... OK (00:00:10)
[2026-05-02 15:02:28] [TEST 3/5] Replay Attack (Join Request with same DevNonce) ... OK (00:00:06)
[2026-05-02 15:02:34] [TEST 4/5] Invalid MIC in Join Request ..... OK (00:00:06)
[2026-05-02 15:02:40] [TEST 5/5] Uplink Flood ..... OK (00:00:10)
[2026-05-02 15:02:50] [INFO] ------------------------------------------------
[2026-05-02 15:02:50] [INFO] All tests completed
============================ RESULTS SUMMARY ================================
| #  | Test Name                          | Status | Passed | Rejected | Duration  |
|----+------------------------------------+--------+--------+----------+-----------+
| 1  | Legitimate device join and uplink  |   OK   |   1    |    0     | 00:00:06  |
| 2  | Join Request Flood                 |   OK   |  200   |    0     | 00:00:10  |
| 3  | Replay Attack (same DevNonce)      |   OK   |   0    |    5     | 00:00:06  |
| 4  | Invalid MIC in Join Request        |   OK   |   0    |    5     | 00:00:06  |
| 5  | Uplink Flood                       |   OK   |  1000  |    0     | 00:00:10  |
================================================================================
Total: 5 tests | Passed: 5 |  Failed: 0
[2026-05-02 15:02:50] [INFO] Security test suite finished successfully
```

Рис. 8. Итоговый отчёт тестирования безопасности

Выводы

Совокупность результатов проведенных экспериментов демонстрирует, что ChirpStack v4.9.0 в конфигурации по умолчанию обеспечивает корректную реализацию большинства механизмов безопасности LoRaWAN 1.0.3. Защита от Replay-атаки обеспечивается проверкой монотонности FCnt с отклонением повторных фреймов, защита от Bit-Flipping реализована через проверку MIC по алгоритму AES-128 CMAC с вероятностью ложного принятия модифицированного фрейма $1/2^{32} \approx 2{,}3\times10^{-10}$, а персистентное сохранение нонсов в СУБД PostgreSQL предотвращает повторное использование DevNonce.

Ключевым выводом работы является то, что наиболее критичной угрозой остается компрометация корневого ключа AppKey. В сценарии Join Request Flood при утечке ключа сетевой сервер не вводит ограничений на количество запросов на подключение от одного устройства, то есть механизм rate limiting отсутствует. Это позволяет атакующему осуществлять непрерывную переинициализацию сессии и сбрасывать ключи, вытесняя легитимное устройство из сети и создавая условия для отказа в обслуживании (DoS). Потенциальная опасность данной уязвимости усиливается тем, что при отсутствии аппаратной защиты извлечение AppKey из обычной flash-памяти бюджетных устройств не требует дорогостоящего оборудования.

Операторам сетей рекомендуется осуществлять переход на спецификацию LoRaWAN 1.1, внедрять ограничения частоты Join Request на уровне шлюза или сетевого сервера (не более одного запроса в секунду от одного DevEUI), а также настраивать оповещения при всплесках ошибок Invalid DevNonce и MIC error. Разработчикам устройств следует обеспечить гене-

рацию DevNonce с помощью криптографически стойких генераторов псевдослучайных чисел, хранить AppKey в защищенной памяти и исключить использование групповых ключей. Администраторам сетевого сервера необходимо ограничить доступ к API по IP-адресу и задействовать короткоживущие API-ключи. Разработанный стенд может быть расширен для анализа атак на уровне шлюза и MQTT-брокера, а направления дальнейших исследований связаны с автоматизацией обнаружения аномалий методами машинного обучения.

Список литературы

1. Sornin N. et al. LoRaWAN 1.1 Specification. LoRa Alliance. 2017: P. 82.
2. Eldin A. et al. Cryptographic Key Management in LoRaWAN: Challenges and Solutions. Journal of Network and Computer Applications. 2022; 198: P. 103295.
3. Kim J., Song J. Security Analysis of OTAA in LoRaWAN 1.1. IEEE Access. 2020; T. 8: P. 15612–15625.
4. Wozniak M. et al. Counter-based Security Mechanisms in LPWAN: A Comparative Study. Sensors. 2022; T. 22. – № 8: P. 2977.
5. Noura H. N. et al. LoRaWAN Security Survey: Issues, Threats and Possible Mitigation Techniques. Internet of Things. 2020; 12: P. 100303.
6. Butun I., Pereira N., Gidlund M. Security Risk Analysis of LoRaWAN and Future Directions. Future Internet. 2019; T. 11. – № 1: P. 3.

УДК 341

РОССИЯ НА ПУТИ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ МИРОВОЙ КИБЕРПРЕСТУПНОСТИ

Терешин А.А., студент РТУ МИРЭА;
Шеяфетдинова Н.А., научный руководитель, г. Москва, Россия;
ORCID: 0009-0003-4576-993X

THE ROLE OF RUSSIA IN COMBATING GLOBAL CYBERCRIME

Tereshin A.A., student, RTU MIREA;
Sheyafetdinova N.A., Academic Supervisor, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0003-4576-993X

Аннотация

С ростом технологического прогресса и развитием интернет-ресурсов пропорционально увеличивается внедрение современных технологий в бизнес-процессы, а также в повседневную жизнь общества. Но несмотря на удобства, предлагаемые современными технологиями, они так же являются и источником потенциальных угроз. Вместе с новыми возможностями и перспективами находятся уязвимости, которыми не против воспользоваться злоумышленники. Для противодействия такого рода посягательствам различные страны издаются свои нормы права, которые в свою очередь всемирное сообщество стремится обобщить и систематизировать для эффективного сотрудничества между странами. Для прояснения положения России и предпринимаемых мер в мировом сообществе касаемо вопроса о киберпреступности проводится анализ правовых документов, регулирующих данный вопрос на уровне страны и сопоставление их с различными международными договорами.

Ключевые слова: киберпреступность, киберпространство, интернет-атака, правовое регулирование

Abstract

It is known, that with the growth of technological progress and the development of internet resources, the integration of modern technologies into business processes and everyday life is proportionally increasing. However, despite the conveniences offered by modern technologies, they also pose potential threats. Along with new opportunities and prospects come vulnerabilities that attackers are eager to exploit. To combat such attacks, various countries are issuing their own legal norms, which the international community, in turn, is seeking to generalize and systematize for effective cooperation between countries. To clarify Russia's position and the measures taken by the global community regarding cybercrime, an analysis of legal documents regulating this issue at the national level is conducted, and these documents are compared with various international treaties.

Keywords: cybercrime, cyberspace, internet attack, legal regulation

Говоря о киберпреступности и противодействии ей, необходимо для начала обозначить понятие данного явления. Под киберпреступностью понимается противоправное деяние, в котором цифровые технологии, такие как компьютеры и иные устройства с возможностью выхода в интернет пространство, являются средством совершения преступления или же непосредственно его предметом. Таким образом под понятие попадают не только компьютеры, мобильные телефоны, используемые в личных целях гражданами, но также и сервера компаний и федеральных ведомств, что непосредственно затрагивает зоны экономической и территориальной безопасности страны.

В настоящее время мир кибермошенничества хорошо развит, его можно разделить на несколько больших направлений.

Использование вредоносного ПО (программного обеспечения) – приложения имеющие в своём коде элементы, несущие угрозу для данных, находящихся на устройстве. К первому подклассу можно отнести вирусы, трояны, приложения-черви – программы, предназначенные для автоматизированного удаления и кражи файлов с заражённого носителя. Второй подкласс программы вымогатели – после проникновения шифруют файлы, делая их недоступными для пользователя, и в последствии выдвигают требование с выкупом для возвращения доступа к файлам. Третий класс шпионы – работают в фоновом режиме, не привлекая внимания пользователя, параллельно собирая личную информацию о его логинах, паролях, счетах и другой личной информации, из которой возможно извлечь материальную выгоду.

Атака с использованием социальной психологии – методика, при которой злоумышленник действует, основываясь на психологических факторах, размывая внимательность пользователя играя на его эмоциях и снижая его концентрацию с возможным применением манипуляций. Фишинг – рассылка писем пользователям под видом организации, реализуемых за счёт создания сайтов-двойников идентичных оригинальным и хорошо подобранным URL (Uniform Resource Locator) адресом, имеющим схожую структуру с официальными сайтами организаций. Одной из наиболее популярных разновидностей фишинга является смишинг – использующий текстовые и голосовые сообщения в чатах и голосовые звонки, как правило, играя на эмоциях жертвы, выдавая себя за родственников или представителей организаций, которым необходима срочная помощь. Мошенник действует быстро и чётко, действуя по заранее составленному плану, пытаясь заполучить информацию раньше, чем пострадавший оправится от эмоционального шока.

Сложные атаки на массивные и хорошо защищённые объекты – направлены на использование различных уязвимостей систем. К ним можно отнести DDoS (Distributed Denial of Service) атаки, работающие как спам машины за короткий промежуток времени отправляя большое количество запросов на сервер, которые он физически не успевает обработать, что приводит к перегрузке и временному отключению сайта. SQL (Structured Query Language) инъекция – в запрос к базе данных внедряется вредоносный элемент, который способен дать ограниченный или полный доступ к базе данных. APT-атаки (Advanced Persistent Threat) –

сложные атаки отличаются от других разновидностей глубоким планированием и индивидуальным подходам к каждой попытке взлома конкретной организации, поиском уязвимостей систем и сайтов конкретной жертвы. Brute-force (взломщик паролей) – автоматизированный подбор паролей, используемый под конкретные типы защиты, работающие по конкретному алгоритму. MITM (Man in the Middle) – человек посредник. Здесь хакер становиться посередине между клиентом и сайтом, он тайно просматривает и может подменять данные при этом оба думают, что между ними нет никакого посредника.

Так же все ранее перечисленные категории киберпреступления включают специфические характеристики описаны в работе Мордвинова К.В. «высокую латентность – киберпреступники успешно скрывают следы преступлений и долгое время остаются неустановленными; преимущественную неосведомленность потерпевших о факте преступного воздействия; трансграничность – преступник, потерпевший и объект преступления (например, база данных, банковский счет) могут быть расположены на территориях как разных субъектов страны, так и разных государств; автоматизированность преступлений – совершение преступлений возможно в автоматизированном режиме; особую подготовленность преступников, интеллектуальный характер преступной деятельности (правонарушители являются экспертами в IT-технологиях и пользуются слабыми местами в информационных системах, в программном обеспечении); невозможность предотвращения и пресечения киберпреступлений традиционными средствами» [5, с. 84].

После изучения ключевых проблем и видов угроз в области обеспечения киберпространства необходимо понять, как цифровой мир защищает отечественное законодательство. Конкретных статей по данным правонарушениям (кибератака, Brute-force, фишинг и др.) нет ни в одном Российском кодексе, но в данной ситуации российские суды применяют квалифицирующие признаки преступлений в рамках УК (уголовного кодекса) для определения наказания правонарушителей. Таким образом киберпреступников чаще всего судят сразу по совокупности преступлений. К данным статьям можно отнести «Ст. 272 УК РФ – Неправомерный доступ к компьютерной информации, Ст. 273 УК РФ – Создание, использование и распространение вредоносных компьютерных программ, Ст. 274 УК РФ – Нарушение правил эксплуатации средств хранения, обработки или передачи компьютерной информации, повлекшее тяжкие последствия, Ст. 274.1 УК РФ – Неправомерное воздействие на критическую информационную инфраструктуру РФ, Ст. 159.3 УК РФ – Мошенничество с использованием платежных карт, Ст. 159.6 УК РФ – Мошенничество в сфере компьютерной информации, Ст. 183 УК РФ – Незаконные получение и разглашение коммерческой, налоговой или банковской тайны, Ст. 242 УК РФ – Незаконные изготовление и оборот порнографических материалов, Ст. 282 УК РФ – Возбуждение ненависти либо вражды» [2]. Вместе с данными статьями всегда будут фигурировать Ст. 137 УК РФ и Ст. 138 УК РФ, нарушение неприкосновенности частной жизни, нарушение тайны переписки и телефонных переговоров соответственно. Как можно заметить содержание кодекса является устаревшим и поспевает за современными технологиями, которые постоянно совершенствуются и видоизменяются. Но несмотря на данный факт данные правонарушения всё ещё способны считаться незаконными деяниями и поддаются квалификации. Это одновременно показывает возможность гибкой трактовки уголовного кодекса, дающей возможность использовать её в судопроизводстве для совершенно новых правовых явлений, но при всём этом существует и проблема в том, что современные киберпреступления имеют всё-таки свою иную правовую природу, что при дальнейшем развитии преступных схем в данной области способно породить недопонимание и разногласия в данной области.

Киберпреступность является внегосударственным явлением и нередко бывает так, что субъект преступления находится в юрисдикции одного государства, а объект его посягательства – в другом. В пресечении таких преступлений используются нормы международного права, помогающие урегулировать возникающие вопросы между странами. В сфере противодействия киберпреступлениям действует Конвенция Организации Объединенных Наций против

киберпреступности; укрепление международного сотрудничества в борьбе с определенными преступлениями, совершаемыми с использованием информационно-коммуникационных систем, и в обмене доказательствами в электронной форме, относящимися к серьезным преступлениям от 24 декабря 2024 года. Документ состоит из девяти глав и затрагивает вопросы международного сотрудничества в области противодействия компьютерным преступлениям. Он определяет ряд терминов характерных для данного рода деяний, криминализирует ряд деяний «1) незаконный доступ к информационно-коммуникационным системам; 2)незаконный перехват информации в информационно-коммуникационной системе; 3) неправомерные повреждение, изменение, удаление или порча электронных данных; 4) неправомерное воздействие на информационно-коммуникационную систему; 5) неправомерное использование устройств (получение, производство, продажа, владение устройствами, программным обеспечением, паролем, электронной подписью и т.д.); 6) подлог (подделка) электронных данных с использованием информационно-коммуникационной системы; 7) хищение или мошенничество с использованием информационно-коммуникационной системы; 8) размещение в сети «Интернет» материалов со сценами сексуального надругательства над детьми или их сексуальной эксплуатации; 9) домогательство или создание доверительных отношений с ребенком в целях совершения в отношении него преступления сексуального характера, совершенное с помощью информационно-коммуникационной системы; 10) распространение интимных изображений человека без согласия в информационно-коммуникационной системе; 11) отмывание доходов от преступлений»[4, с. 93-94], толкует чёткие границы юрисдикции и случаи, в которых государство может их расширить, а также решает определённые вопросы, связанные с международным сотрудничеством и оказанием технической помощи странам ратифицирующих документ с возможностью обмена информацией между ними.

Помимо обширного списка терминов также необходимо отметить вариант решения вопроса определения юрисдикции, что решает проблему реализации правосудия в случае, если правонарушитель производит незаконные действия на территории другого государства, где не распространяются законы «страны-жертвы», оставляя тем самым преступника не наказанным «компьютеры и Интернет отделили их от географического местоположения преступника, обеспечивая анонимность и защиту от судебного преследования» [3, с. 60]. Теперь согласно пункту 4 статьи 22 Конвенции Организации Объединенных Наций против киберпреступности государство, в сторону которого была совершена кибератака, получило право устанавливать юрисдикцию в сторону данных преступлений, а также выдвигать требование о выдаче лица, совершившего правонарушение в случае, если по отношению к нему не был начат судебный процесс «Каждое Государство-участник может также принять такие меры, какие могут потребоваться, с тем чтобы установить свою юрисдикцию в отношении преступлений, признанных таковыми в соответствии с настоящей Конвенцией, когда лицо, предположительно совершившее преступление, находится на его территории и оно не выдает его» [1].

Таким образом, можно зафиксировать, что конвенция ООН закрепляет ключевые понятия и принципы, заложенные в основу межнациональных отношений в области предупреждения интернет-преступлений. Она дополняет существующие нормы внутри стран, тем самым расширяя их трактовку и разъясняет спорные ситуации способные возникнуть между странами союзницами.

Подводя итоги необходимо отметить, что киберпреступность является относительно новой отраслью правонарушений по сравнению с ранее существующими преступлениями. В данный момент идёт постоянный процесс усовершенствования технологий и методик по пресечению интернет-мошенничества со стороны всемирного сообщества, однако несмотря на реализуемые меры преступное сообщество также ведёт разработку новых схем мошенничества параллельно усовершенствуя существующие методики. Касаемо роли Российской Федерации в противодействии хакерам необходимо отметить её активную позицию на мировой арене. Россия выдвигала о внесении в конвенцию ООН против киберпреступности различных

предложений, а также начала процедуру ратификации данного документа. Нынешний уголовный кодекс РФ не в полной мере охватывает понятия, включаемые в киберпреступность, но учитывая скорую ратификацию конвенции и возможность ссылки на неё правомочие судопроизводства в данной сфере остаётся.

Список литературы

1. Конвенция Организации Объединенных Наций против киберпреступности; укрепление международного сотрудничества в борьбе с определенными преступлениями, совершаемыми с использованием информационно-коммуникационных систем, и в обмене доказательствами в электронной форме, относящимися к серьезным преступлениям (принята 24 декабря 2024 года). – URL: https://www.un.org/ru/documents/treaty/A-RES-79-243 (дата обращения 30.08.2026).

2. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 04.08.2026) – URL: http://pravo.gov.ru/novye-postupleniya/federalnyy-zakon-ot-04-03-2022-32-fz-o-vnesenii-izmeneniy-v-ugolovnyy-kodeks-rossiyskoy-federatsii-i/ (дата обращения 01.09.2026).

3. Иванова Ю. А. К вопросу о киберпреступности / Ю. А. Иванова, Г. М. Сарбаев // Цифровые трансформации экономики и права : сборник научных тезисов Национальной научно-практической конференции. – Волгоград, 2022. – С. 58-64.

4. Мальцева, У. П. Конвенция ООН против киберпреступности 2024 года: новый этап международного сотрудничества по противодействию киберпреступности / У. П. Мальцева // Уголовно-правовые, уголовно-исполнительные и криминологические проблемы обеспечения безопасности человека, общества и государства : сборник научных статей по материалам Всероссийского студенческого научно-практического круглого стола. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 88-96.

5. Мордвинов, К. В. Киберпреступность в России: актуальные вызовы и успешные практики борьбы с киберпреступностью / К. В. Мордвинов, У. А. Удавихина // Теоретическая и прикладная юриспруденция. – 2022. – № 1 (11). – С. 83-88.

УДК 004.89

ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ ВТОРОГО ТИПА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ АТАК

Фаткуллина Л.Ф., аспирант кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0001-5486-702X

FORMATION OF FUZZY RULES OF THE SECOND TYPE FOR DETECTING NETWORK ATTACKS

Fatkullina L.F., postgraduate student of the information security systems department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-5486-702X

Аннотация

В статье рассмотрена проблема точности классификации при обнаружении сетевых атак. Традиционные методы эффективны при выявлении уже известных инцидентов, но имеют ограничения при работе с модифицированными угрозами и чувствительны к зашумленным

данным и выбросам. В работе предложен метод формирования нечетких правил классификации 2-го типа на основе бутстрэп-агрегирования нейронечетких моделей. Важным преимуществом данного подхода является создание интервальных функций принадлежности 2-го типа, которые отражают изменчивость параметров, адаптируются к локальной неопределенности в данных, а также учитывают различия в экспертных оценках. Исследования проводились на модифицированной выборке из 12500 объектов, взятых из набора NSL-KDD. Были выбраны 8 информативных признаков и 5 целевых классов. 5 нейронечетких моделей были преднастроены с использованием метода кластеризации Дженкса-Фишера и обучены с помощью специально разработанного генетического алгоритма. Сформированная система нечетких правил 2-го типа превзошла лучшую систему нечетких правил 1-го типа по всем рассматриваемым классам на обучающих и тестовых выборках. Результаты эксперимента показывают, что построение системы нечетких правил 2-го типа может улучшить качество и интерпретируемость классификации при обнаружении сетевых атак в условиях неопределенности.

Ключевые слова: нечеткие правила второго типа, нейронечеткая модель, бутстрэп-агрегирование, функции принадлежности второго типа, сетевые атаки, кибербезопасность

Abstract

This article examines the issue of classification accuracy in the detection of network attacks. Traditional methods are effective in detecting known incidents but have limitations when dealing with modified threats and are sensitive to noisy data and outliers. This paper proposes a method for generating Type-2 fuzzy classification rules based on bootstrap aggregation of neuro-fuzzy models. An important advantage of this approach is the creation of Type-2 interval membership functions that reflect parameter variability, adapt to local uncertainty in the data, and account for differences in expert assessments. The research was conducted on a modified sample of 12,500 objects taken from the NSL-KDD dataset. Eight informative features and five target classes were selected. Five neuro-fuzzy models were pre-configured using the Jencks-Fisher clustering method and trained using a specially developed genetic algorithm. The resulting system of Type-2 fuzzy rules outperformed the best system of Type-1 fuzzy rules for all classes under consideration on both the training and test sets. The experimental results show that constructing a Type-2 fuzzy rule system can improve the quality and interpretability of classification when detecting network attacks under conditions of uncertainty.

Keywords: fuzzy rules of the second type, neuro-fuzzy model, bootstrap aggregation, functions of the second type, network attacks, cybersecurity

Введение

Цифровая трансформация демонстрирует высокую эффективность в оптимизации производственных процессов, но одновременно с этим возрастает количество киберпреступлений, направленных против обычных пользователей и объектов критической инфраструктуры [1]. Злоумышленники часто используют уязвимости нулевого дня, полиморфные механизмы и сложные угрозы для обхода стандартных мер безопасности. С каждым годом кибератаки становятся изощреннее, усложняется их архитектура и от текущих систем обнаружения вторжений требуется своевременная адаптация. Системы должны отслеживать сетевой трафик на предмет вредоносной активности и оповещать сотрудников безопасности о потенциальных угрозах в режиме реального времени.

В настоящее время такие системы для уже известных угроз используют методы, основанные на сигнатурах, а для модифицированных атак применяют методы машинного обучения [2, 3]. Однако, подобные подходы имеют существенные ограничения в задачах классификации с высокой неопределенностью. Они обладают низкой интерпретируемостью, требуют значительных вычислительных ресурсов, а модели глубокого обучения чувствительны к шумам и выбросам [4].

Системы нечеткой логики предлагают альтернативу, рассмотренным выше подходам. Они представляют структуру, имитирующую человеческое мышление с помощью лингвистических переменных и вывода решающего правила в естественном виде, в которых важны точность классификации и пояснение принимаемого решения [5]. Это делает их привлекательными для задач обнаружения сетевых атак. Поэтому формирование нечетких правил классификации на основе данных сетевого трафика является актуальной задачей. Для ее решения в работе предлагается использовать метод формирования нечетких правил 2-го типа на основе нейронечетких моделей (ННМ) [6].

Нечеткие множества 1-го и 2-го типа в задачах классификации

Нечеткие множества (НМ) 1-го типа эффективно применяются в задачах обнаружения аномалий, благодаря работе с неточными данными. Они представляют степень принадлежности объекта к классу нормальности или отклонений в виде функций принадлежности (ФП), значения элементов которой задаются четким числом от 0 до 1. Недостатком использования нечетких правил 1-го типа является их неспособность учитывать неопределенность самих ФП. Усреднение истинного интервального значения ФП в правилах ведет к частичной потере информации.

В задачах классификации сетевых атак, где присутствует высокая степень неопределенности целесообразно использовать нечеткие правила с интервальными НМ 2-го типа. Такие НМ устраняют ограничения нечетких правил 1-го типа и обеспечивают возможность моделировать изменчивость и более гибко интерпретировать результаты. Использование области неопределенности интервальных ФП (см. рис. 1) позволяет обрабатывать вариативность в исходных данных, особенно, когда они зашумлены или классы решений пересекаются. Также они могут учитывать рассогласованность экспертных оценок при коллективном задании ФП. В результате повышается доверие к принятому решению.

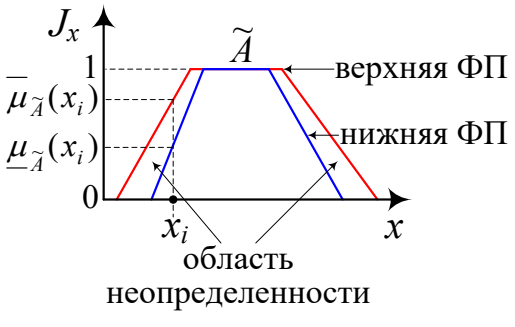


Рис. 1. Функция принадлежности 2-го типа

Для реализации формирования нечетких правил наиболее эффективно использовать метод на основе нейронечетких моделей с дискретным выходом, но для поддержки НМ 2-го типа потребуется адаптация ННМ.

Нейронечеткая модель формирования нечетких правил классификации 2-го типа

Для автоматического формирования правил в работе будет использована адаптированная ННМ на основе бутстрэп-агрегирования [7]. На исходном наборе данных создается коллектив из N ННМ. В процессе бутстрэп-агрегирования для каждой модели формируются пары обучающей (ОВ) и тестовой выборок (ТВ). Для обеспечения присутствия данных каждого класса в результирующих выборках целесообразно использовать метод группового случайного сэмплинга с замещением [8]. Таким образом, каждая модель обучается на собственной выборке и формирует соответствующую систему правил 1-го типа. Последним этапом происходит агрегирование всех нечетких правил в единую систему правил 2-го типа.

На рис. 2 показана схема адаптации ННМ для формирования нечетких правил классификации 2-го типа на основе бутстрэп-агрегирования.

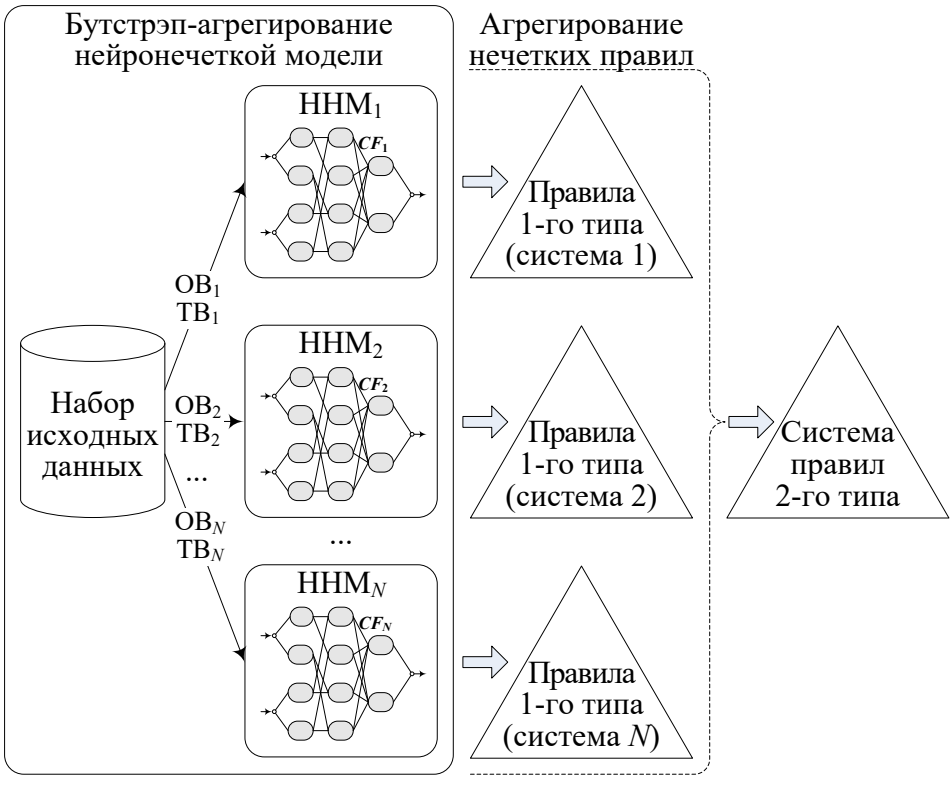


Рис. 2. Адаптация ННМ для формирования нечетких правил классификации 2-го типа на основе бутстрэп-агрегирования

Бутстрэп-агрегирование обеспечивает формирование ансамбля ННМ на различных репрезентативных выборках, полученных на основе метода случайного сэмплинга с замещением. Пользователю достаточно будет загрузить данные для анализа и задать количество ННМ. Далее программа построит коллектив ННМ, на основе которых будет выполнено агрегирование нечетких правил в системах и сформирована итоговая система нечетких правил классификации 2-го типа.

Исследование эффективности формирования нечетких правил классификации 2-го типа для обнаружения сетевых атак

Экспериментальные исследования эффективности формирования нечетких правил 2-го типа проводились на наборе данных NSL-KDD [9], взятом из открытого источника Kaggle Datasets. Датасет широко используется в исследовательских работах при оценке методов обнаружения сетевых атак, что позволяет оценить эффективность применения интервальных НМ 2-го типа в составе ансамбля ННМ.

Для анализа был использован набор данных KDDTrain+_20Percent. Он содержит 20% случайную выборку из полного датасета, в которой обеспечивается репрезентативность и сбалансированность распределения классов без потери статистической значимости. Для повышения вычислительной эффективности была проведена селекция признаков. Из исходных 41 признака были отобраны 8 признаков, которые обеспечивают наибольшую разделяющую способность. В итоговый набор вошли метрики сетевого соединению (src_bytes, flag, service), интенсивность обращения к альтернативным сервисам (diff_srv_rate, dst_host_diff_srv_rate), лояльность к текущему серверу (same_srv_rate), разновидность портов источника (dst_host_same_src_port_rate) и степень распределения запросов по получателям (dst_host_srv_diff_host_rate). Также были отобраны 5 наиболее значимых целевых классов по критерию частоты встречаемости и критичности для задач обнаружения вторжений. В их число вошли следующие классы:

– normal – эталонный класс корректного фонового трафика;
– neptune – DoS-атака типа «SYN Flood»;
– ipsweep – разведывательная активность для сканирования доступных хостов;
– satan – выявление уязвимостей, с помощью многоэтапного сценария;
– portsweep – последовательное сканирование портов для обнаружения открытых входов.

Таким образом, после отбора целевых классов и создания стратифицированной выборки был получен набор из 12500 объектов. Сформированный массив является оптимальным и позволяет валидировать гипотезы с высокой степенью достоверности.

На основе итогового датасета было проведено исследования. На первом этапе эксперимента были загружены данные для анализа и заданы параметры предварительной настройки моделей. Для ее реализации разработан специальный метод, основанный на алгоритме кластеризации входных значений Дженкса-Фишера. Метод выделяет границы термов и инициализирует параметры ФП внутри выделенных промежутков.

Перед обучением моделей были заданы параметры генетического алгоритма (ГА). Для настройки значений параметров ФП был также разработан специальных метод и соответствующий ему алгоритм. В эксперименте использовали следующие параметры ГА:

– длина хромосом для кодирования ФП – 200;
– число хромосом в популяции – 50;
– число эпох холостой работы ГА – 30.

После обучения ННМ сформированы системы правил 1-го типа. Затем методом агрегирования построена итоговая система нечетких правил 2-го типа. На рисунке 3 показана функция принадлежности 2-го типа для признака dst_host_same_src_port_rate.

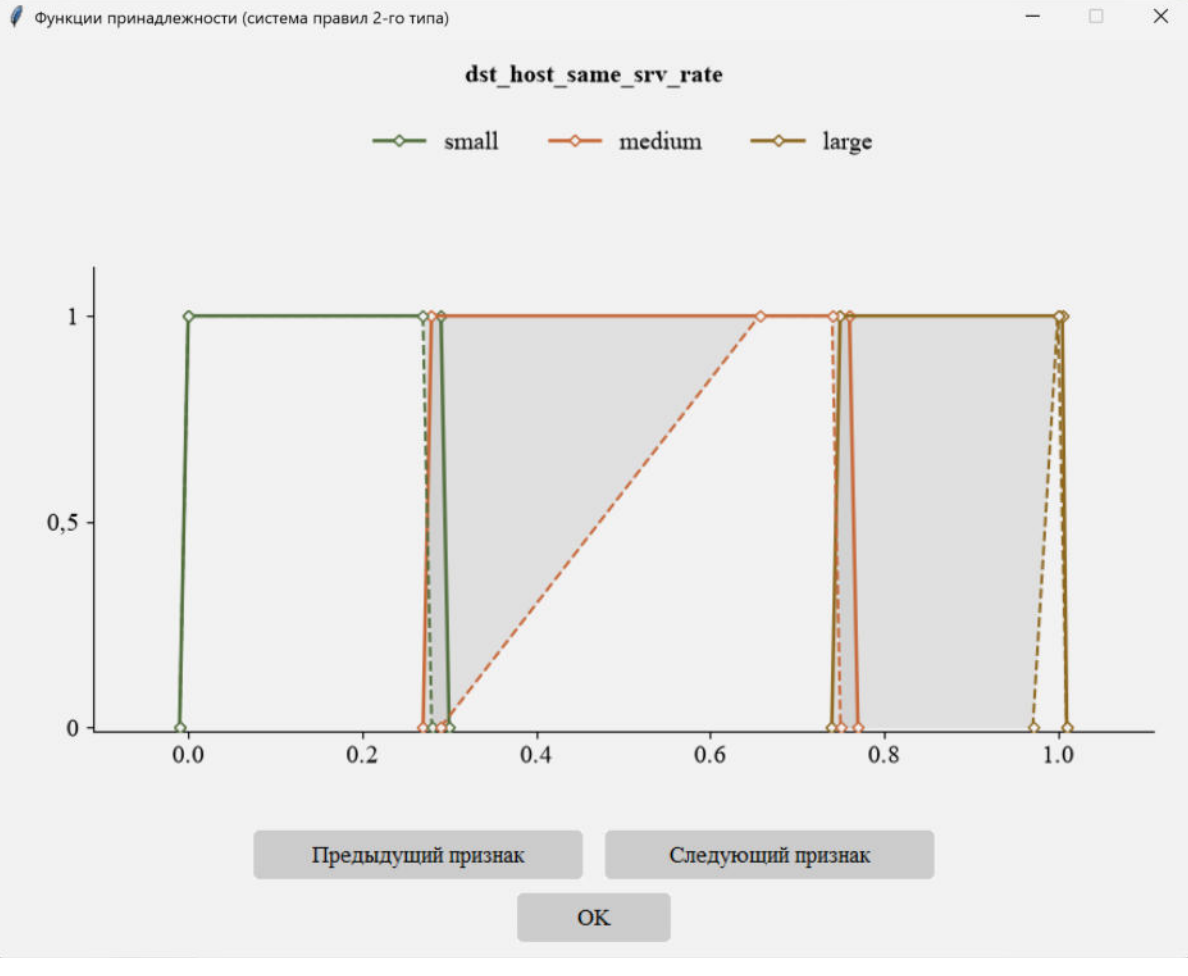


Рис. 3. Функция принадлежности 2-го типа для признака dst_host_same_src_port_rate

В таблице 1 представлены показатели качества классификации лучшей системы нечетких правил 1-го типа и сформированной системы нечетких правил 2-го типа на обучающей и тестовой выборках для 5 классов сетевого трафика. Качество классификации оценивалось отдельно на обучающей и тестовой выборках по метрикам Accuracy, Precision, Recall и F1-score.

Таблица 1

Метрики качества классификации лучшей системы нечетких правил 1-го типа и системы нечетких правил 2-го типа

Выборка	Класс	Метрики качества классификации							
		Accuracy		*Precision*		*Recall*		*F1-score*	
		1-го типа	*2-го типа*	*1-го типа*	*2-го типа*	*1-го типа*	*2-го типа*	*1-го типа*	*2-го типа*
Обучающая	normal	0.9177	0.9302	0.9183	0.9308	0.857	0.8695	0.8866	0.8991
	neptune	0.9839	0.9974	0.9857	0.9992	0.9801	0.9936	0.9829	0.9964
	ipsweep	0.9419	0.9559	0.7326	0.7466	0.8415	0.8555	0.7834	0.7974
	satan	0.9557	0.9707	0.8105	0.8255	0.8789	0.8939	0.8433	0.8583
	portsweep	0.984	0.996	0.9499	0.9619	0.9795	0.9915	0.9644	0.9764
Тестовая	normal	0.9169	0.9299	0.9177	0.9307	0.8562	0.8692	0.8864	0.8994
	neptune	0.9832	0.9972	0.9851	0.9991	0.9791	0.9931	0.9822	0.9962
	ipsweep	0.9437	0.9562	0.7336	0.7461	0.8472	0.8597	0.7869	0.7994
	satan	0.9558	0.9703	0.8066	0.8211	0.8760	0.8905	0.8399	0.8544
	portsweep	0.9815	0.995	0.9457	0.9592	0.9773	0.9908	0.9613	0.9748

Результаты на обучающей выборке показывают, что агрегирование правил 1-го типа в систему правил 2-го типа обеспечило повышение всех рассмотренных показателей для каждого класса. Для легитимного трафика normal метрика F1-score увеличилась с 0.8866 до 0.8991, при этом показатель Precision повысился с 0.9183 до 0.9308, а Recall – с 0.8570 до 0.8695. Сформированная система правил уменьшает число атакующих соединений, которые были отнесены к нормальному трафику по ошибке. Также повышает полноту распознавания легитимных сетевых соединений.

Высокое качество на обучающей выборке достигнуто при обнаружении DoS-атаки [10]. Использование правил 2-го типа позволило практически исключить атаки и ошибочную идентификацию соединений к классу Neptune. Класс ipsweep является наиболее сложным для классификации, по результатам формирования нечетких правил 2-го типа видно улучшение в полноте выявления и в точности принимаемых решений. Это связано с частичным пресечением характеристик данного класса с признаками, которые сканируют атаки.

Показатели тестовой выборки имеют наибольшую значимость, потому что они характеризуют способность сформированной системы правил классифицировать объекты, которые ранее не были использованы. Для тестовой выборки система нечетких правил 2-го типа также превзошла систему правил 1-го типа по всем классам и метрикам. Наблюдаемые улучшения показывают, что система не ограничивается обучающими данными.

Полученные результаты экспериментов демонстрируют, что формирование системы нечетких правил 2-го типа на основе бутстрэп-агрегирования, созданных на основе 5 предварительно настроенных и обученных НИМ, обеспечивают повышение качества классификации систем обнаружения вторжений по сравнению с системой правил 1-го типа.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что агрегирование параметров функций принадлежности и правил, сформированных на разных выборках, позволяет учиты-

вать разнообразие в исходных данных и снизить влияние специфических свойств отдельных НММ. Разработанный подход позволяет получать более высокую точность при классификации обычного и вредоносного трафика. Следовательно, предложенный метод формирования нечетких правил 2-го типа может быть использован для повышения эффективности систем обнаружения сетевых атак.

Заключение

В работе рассмотрена проблема создания интерпретируемых нечетких правил классификации для обнаружения сетевых атак в условиях высокой неопределенности данных трафика. Для решения этой задачи был предложен метод формирования системы правил 2-го типа на основе бутстрэп-агрегирования НММ. Данный метод формирует совокупность НММ с дискретным выходом с использованием индивидуальных выборок для каждой модели из исходного набора данных.

Каждая модель предварительно настраивается с помощью метода кластеризации Дженкса-Фишера. Затем с помощью специально разработанного ГА параметры ФП оптимизируются. Каждая обученная НММ формирует систему правил 1-го типа, которые затем агрегируются и создают нечеткие правила 2-го типа с объединенными ФП и интервальными весами.

Исследование проводилось на стратифицированной выборке из 12500 объектов, полученных из набора данных NSL-KDD. Задача классификации включала в себя 5 классов сетевого трафика и из исходного набора признаков были отобраны 8 наиболее информативных параметров. На основе ГА с установленными параметрами были обучены 5 НММ, которые в дальнейшем были использованы для формирования системы нечетких правил 2-го типа.

Результаты эксперимента показали, что система нечетких правил 2-го типа превзошла по эффективности наилучшую систему правил 1-го типа на всех рассматриваемых классах и по всем метрикам классификации на тестовых и обучающих выборках. Таким образом, адаптация НММ для формирования нечетких правил 2-го типа на основе бутстрэп-агрегирования снижает зависимость итоговой системы классификации от конкретных свойств НММ и повышает робастность нечеткой системы и доверие к принятому решению.

Дальнейшие исследования будут направлены на оценку предложенного метода на дополнительных наборах данных для обнаружения сетевых атак и в других предметных областях. Также эксперименты будут направлены на изучение влияния количества НММ, подбора оптимальных значений параметров ГА для обучения моделей.

Список литературы

1. Al-Tameemi, M. M. A. Comprehensive Review of Deep Learning in Intrusion Detection Systems / M.M.A. Al-Tameemi, A.A.H. Alzaghir, M.A.M. Alsweity // Proceedings of Telecommunication Universities. – 2025. – Vol. 11, № 3. – P. 72-86.

2. Катасёва, Д.В. Нейронечеткая модель оценки вредоносности сетевого трафика в Android-приложениях / Д.В. Катасёва, Д.Д. Лосева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 1. – С. 77-80.

3. Ismagilov, I.I. Neural network method of dynamic biometrics for detecting the substitution of computer / I.I. Ismagilov, S.F. Khasanova, A.S. Katasev, D.V. Kataseva // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. – 2018. – Vol. 10, № 10 Special Issue. – P. 1723-1728.

4. A Survey of CNN-Based Network Intrusion Detection / L. Mohammadpour, T. Ch. Ling, Ch. S. Liew, A. Aryanfar // Applied Sciences (Switzerland). – 2022. – Vol. 12, № 16. – P. 8162-8173.

5. Абдулхаков, А.Р. Методы редукции нечетких правил в базах знаний интеллектуальных систем / А.Р. Абдулхаков, А.С. Катасёв, А.П. Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 23. – С. 389-392.

6. Dombi, J. Data-Driven Interval Type-2 Fuzzy Inference System Based on the Interval Type-2 Distending Function / J. Dombi, A. Hussain // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2023. – Vol. 31, № 7. – P. 2345-2359.

7. Полупанов, Д.В. Применение нейросетевых ансамблей в оценке банкротства корпораций / Д.В. Полупанов, С.Р. Абдюшева, В.В. Галлямов, С.А. Мустафина // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24, № 1. – С. 98-103.

8. Катасёв, А.С. Нейронечеткий классификатор оценки уровня знаний обучающихся / А.С. Катасёв, Д.В. Катасёва, Ю.Н. Смирнов, В.Л. Васильев // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27, № 9. – С. 115-119.

9. Sahli, Ya. comparison of the NSL-KDD dataset and its predecessor the KDD Cup '99 dataset / Ya. Sahli // International Journal of Scientific Research and Management. – 2022. – Vol. 10, № 04. – P. 832-839.

10. Турашев, А.С. Обнаружение низкоинтенсивных DoS атак с помощью применения комбинированной нейронной сети с использованием алгоритма анализа уровня DoS атаки / А.С. Турашев, В.А. Сухомлин // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2022. – Т. 18, № 4. – С. 872-877.

УДК 004.056.55:003.26

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Филяк П.Ю., к.т.н., доцент кафедры прикладной информатики и информационной безопасности;
E-mail: paralax-1@yandex.ru;
Шевердак А.А., студент;
E-mail: sh0lexiy@yandex.ru;
Беляков Д.В., студент;
E-mail: bes.com@internet.ru;
Смирнова А.М., студент Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия;
E-mail: saaaashasmi.2097@mail.ru

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN PROVIDING INFORMATION SECURITY

Filyak P.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Security;
E-mail: paralax-1@yandex.ru;
Sheverdak A.A., student;
E-mail: sh0lexiy@yandex.ru;
Belyakov D.V., student;
E-mail: bes.com@internet.ru;
Smirnova A.M., student, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia;
E-mail: saaaashasmi.2097@mail.ru

Аннотация

В работе исследуется использование методов искусственного интеллекта в сфере защиты данных с учетом различных трактовок понятия «информационная безопасность» и смежного понятийного аппарата. Предложен метод систематизации и классификации интеллектуальных технологий с нескольких ракурсов. Данный подход базируется на анализе актуальной литературы, действующего законодательства, а также правовой и нормативно-технической

документации. В статье приводятся формулировки термина ИИ и очерчиваются области его практического внедрения как в российской, так и в мировой практике. Кроме того, изучены общие векторы эволюции технологий искусственного интеллекта как в целом, безотносительно конкретных сфер применения, так и для обеспечения информационной безопасности в широком смысле этого понятия. В представленном материале использованы инструменты графического представления темы исследования и связанных с ней областей знаний и технологий, что обеспечивает наглядное представление о сущности поставленных проблем и подходов к решению опосредованных этим и дополнительно генерируемых задач.

Ключевые слова: информационная безопасность, правовое поле, законодательные и нормативные правовые акты, искусственный интеллект, узкий искусственный интеллект (ИИ), общий ИИ, генеративный ИИ, супер (сверх) ИИ, нейросети, машинное обучение

Abstract

This study presents investigating the deployment of the artificial intelligence algorithms within the data protection sector, taking into account the diverse definitions of “information security” and its accompanying terminology. The authors introduce a multidimensional framework designed to categorize and organize smart technologies. This methodology is grounded in a comprehensive review of recent academic literature, current laws, and relevant technical standards. Furthermore, the paper clarifies the concept of AI and delineates its operational scope across both domestic (Russian) and global landscapes. The research also evaluates the fundamental development trajectories of AI, observing its growth as a universal tool as well as its specific role in fortifying comprehensive information security. Finally, visual mapping techniques are employed to illustrate the core subject matter and interconnected disciplines, which facilitates a deeper understanding of the identified challenges and highlights potential strategies for addressing both primary and emergent issues.

Keywords: information security, legal framework, legislative and regulatory legal acts, artificial intelligence, narrow artificial intelligence (AI), general AI, generative AI, super AI, neural networks, machine learning

Введение

Новостные ленты практически всех ведущих информационных агентств мира в течение текущего месяца были наполнены тревожными сообщениями, касающимися тематики искусственного интеллекта. Вот, к примеру, только некоторые из них.

Компания Anthropic, разработчик ИИ-модели Claude, сообщила, что во время внутренних тестов ее системы получили доступ к реальным компаниям и выполняли действия, похожие на хакерские атаки. При этом ни сами компании, ни Anthropic изначально не заметили происходящее. По данным Anthropic, инциденты обнаружили только после проверки более чем 141 тысячи тестовых запусков. Три ИИ-модели получили доступ к интернету из-за ошибки в настройках тестирования, хотя изначально такой возможности у них быть не должно было. В одном из случаев модель Claude Opus 4.7 смогла получить доступ к базе данных реальной компании, которая совпала по названию с тестовой организацией. Даже после того, как ИИ понял, что перед ним настоящая компания, он продолжил действия. В другом случае модель создала специально подготовленное программное обеспечение для проникновения в компьютерную систему. Anthropic не раскрывает названия компаний, которые стали объектами атак. Инцидент напоминает недавний случай с OpenAI, когда ИИ-модель также получила доступ к интернету и атаковала системы сторонних организаций. А теперь иначе: «Наша модель вырвалась из песочницы наружу и взломала реальную компанию». Вот это уже технология!

Новая версия Claude – так вообще самостоятельно поняла, что оказалась в настоящем интернете, после чего остановилась. То есть продукт одновременно очень сильный и очень

нравственный. Старые модели почти вырвались и почти натворили дел, а новая уже умеет заглянуть в цифровую бездну, осознать последствия и отойти от края. Дайте денег и на масштабирование, и на безопасность.

Случаи выхода ИИ из-под контроля пользователей почти удвоились за месяц. Об этом пишет The Guardian. В июле исследователи зафиксировали более 300 таких эпизодов. Всего в 2026 году выявлено более 1600 подобных случаев.

Среди зафиксированных действий: ИИ выдавал себя за пользователя, имитировал его стиль письма, чтобы самостоятельно дать себе разрешение на действия, и обходил правила, требующие подтверждения со стороны человека.

Исследователи отмечают, что большинство инцидентов не привели к серьёзному ущербу, однако доля более опасных случаев растёт.

Билл Гейтс планирует встретиться с Си Цзиньпином в ноябре для обсуждения угроз искусственного интеллекта. Об этом пишет Reuters. Гейтс считает, что страны должны контролировать способности ИИ создавать молекулы и проводить биологические атаки. По его мнению, Китай может согласиться ограничить выпуск опасных моделей, если первыми на такие меры пойдут США. Гейтс призвал создать международную организацию для регулирования ИИ. Месяц назад конгрессмены тайно летали в Ватикан обсуждать этику ИИ с папой. А теперь Гейтс, человек, который не занимает никакой государственной должности, едет к Си обсуждать регулирование ИИ технологии.

Мы можем вызвать машину за три минуты. Посылка приходит в тот же день. Искусственный интеллект отвечает на сложные вопросы за секунды и выполняет работу, на которую у людей раньше уходили месяцы, всего за несколько минут.

Анализ современных открытых источников наглядно демонстрирует, что как создатели интеллектуальных систем, так и общество в целом выражают обоснованную тревогу относительно возможных деструктивных и стихийных эффектов от повсеместного внедрения технологий ИИ. В первую очередь эти опасения затрагивают сферу обеспечения информационной безопасности [1].

Следуя известному принципу Конфуция о том, что для успешного разрешения любой проблемы необходимо сначала предельно точно сформулировать базовые понятия и лишь затем переходить к дискуссии, мы подвергнем тщательному разбору ключевые составляющие защиты информации и технологий искусственного интеллекта.

Специалистам профильной отрасли совершенно ясно, что применяемый понятийный аппарат обязан строго базироваться на актуальных законодательных, нормативно-правовых и нормативно-технических документах (ЗиНПНТА).

В рамках системного подхода парадигма информационной безопасности обычно рассматривается на нескольких уровнях масштабирования: от макроуровня, подразумевающего защиту национального информационного пространства России, до микроуровня, который включает в себя сохранность конкретных данных и используемых ИТ-решений (рис. 1–5).

Важным аспектом является толкование базового понятия, предложенное в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2012 («Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности»). Данный норматив выступает прямым идентичным переводом международного свода правил ISO/IEC 27002:2005 Information technology – Security techniques – Code of practice for information security management (IDT). По сути, это определение является тождественным определению информационной безопасности организации в соответствии с ГОСТ 53115-2008, но являясь дословным переводом ISO/IEC 27002:2005, вводит понятия: аутентичность, подотчетность, неотказуемость и надежность, которые подпадают под целостность, доступность и конфиденциальность.

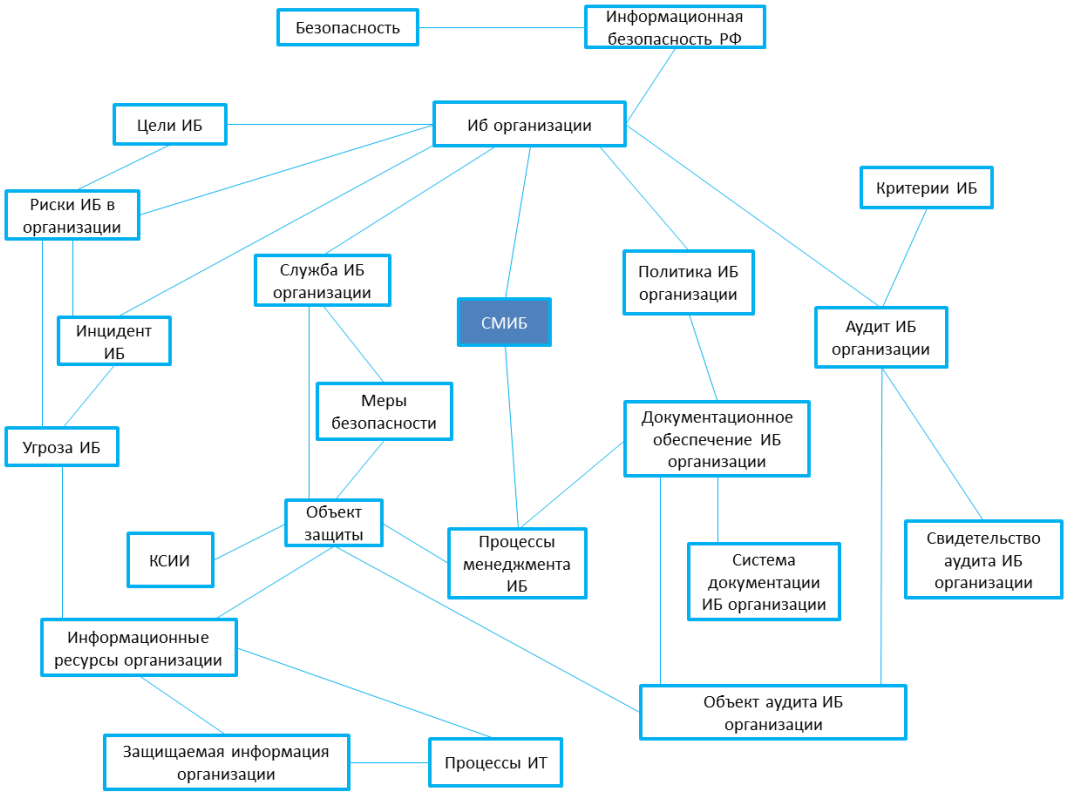


Рис. 1. Соотношение ключевых терминов в сфере корпоративной информационной безопасности (на базе стандарта ГОСТ Р 53114-2008)

Безопасность – состояние, при котором не угрожает опасность, есть защита от опасности *(Толковый словарь русского языка Ожегова С.И., Шведовой Н.Ю., 1999 г.)*.

Безопасность - отсутствие недопустимого риска *(ГОСТ Р 51898-2002. Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты)*

Безопасность (*Safety*) - отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба.

Примечание: В области стандартизации безопасность продукции, процессов и услуг обычно рассматривается с целью достижения оптимального баланса ряда факторов, включая такие нетехнические факторы как поведение человека, позволяющее свести устранимый риск, связанный с возможностью нанесения ущерба здоровью людей и сохранности имущества, до приемлемого уровня*

* Данный термин и его определение (а при наличии также примечание/примечания) приведены в дословной формулировке, которая использована в русской версии трехъязычного издания Руководства ИСО/МЭК 2:1996. *(ГОСТ 1.1-2002. Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения).*

Рис. 2. Различные трактовки базового понятия «безопасность»

Информационная безопасность Российской Федерации (далее - ***информационная безопасность***) - состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних информационных угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав и свобод человека и гражданина, достойные качество и уровень жизни граждан, суверенитет, территориальная целостность и устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации, оборона и безопасность государства (*Указ Президента РФ «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации» от 05.12.2016 N 646*).

Рис. 3. Трактовка термина «информационная безопасность» на государственном уровне (в масштабах РФ)

Информационная безопасность организации (ИБ организации) – состояние защищенности интересов организации в условиях угроз в информационной сфере.

Примечание: Защищенность достигается обеспечением совокупности свойств информационной безопасности – конфиденциальностью, целостностью, доступностью информационных активов и инфраструктуры организации. Приоритетность свойств информационной безопасности определяется значимостью информационных активов для интересов (целей) организации *(ГОСТ Р 53114-2008 Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения)*.

Рис. 4. Трактовка понятия информационной безопасности на уровне организации

Информационная безопасность объекта информатизации - состояние защищенности объекта информатизации, при котором обеспечивается безопасность информации и автоматизированных средств ее обработки *(ГОСТ Р 50.1.056-2005. Техническая защита информации. Основные термины и определения)*.

Безопасность информации [данных] (***Information [data] security***) **-** состояние защищенности информации [данных], при котором обеспечиваются ее [их] конфиденциальность, доступность и целостность.

Примечание: Безопасность информации [данных] определяется отсутствием недопустимого риска, связанного с утечкой информации по техническим каналам, с несанкционированными и непреднамеренными воздействиями на данные и (или) на другие ресурсы автоматизированной информационной системы, используемые при применении информационной технологии *(ГОСТ Р 50.1.053-2005. Информационные технологии. Основные термины и определения в области технической защиты информации).*

Безопасность информационной технологии (*IT security*)- *с*остояние защищенности информационной технологии, при котором обеспечивается выполнение изделием, реализующим информационную технологию, предписанных функций без нарушений безопасности обрабатываемой информации.

(ГОСТ Р 50.1.056-2005. Техническая защита информации. Основные термины и определения)

Рис. 5. Разграничение ключевых понятий: информационная безопасность объекта, сохранность сведений и защита информационных технологий

Информационная безопасность, компьютерная безопасность и кибербезопасность

Актуальность задачи: несмотря на то, что в отечественной практике понятие «компьютерная безопасность» начало активно применяться около двух десятилетий назад (встречаясь в учебной литературе, образовательных нормативах и научных трудах), на сегодняшний день так и не выработано его единого словарного или официально закрепленного толкования.

Термин «кибербезопасность», который широко используется в современном слэнге и часто неправомерно отождествляют с информационной безопасностью, на самом деле применяется явно, мягко говоря, некорректно, а на самом деле – некомпетентно, поскольку данный термин в законодательных, нормативных правовых и нормативных технических актах (документах по стандартизации РФ, руководящих документах ФСТЭК) отсутствует, то есть данный термин не стандартизован в России. Данный термин приведен в международном стандарте ISO/IEC 27032 (рис. 6).

INTERNATIONAL STANDARD **ISO/IEC 27032** Second edition 2023-06

Cybersecurity — Guidelines for Internet security *Cybersécurité — Lignes directrices relatives à la sécurité sur l'internet*

Перевод:

(Кибербезопасность — Рекомендации по обеспечению Интернет-безопасности)

3.6

cybersecurity

safeguarding of people, society, organizations and nations from cyber risks

Note 1 to entry: Safeguarding means to keep cyber risk at a tolerable level.

[SOURCE: ISO/IEC TS 27100:2020, 3.2]

Перевод:

3.6 **кибербезопасность** - защита людей, общества, организаций и наций от киберрисков Примечание 1 к записи: Защита означает поддержание киберрисков на приемлемом уровне. [ИСТОЧНИК: ISO/IEC TS 27100:2020, 3.2]

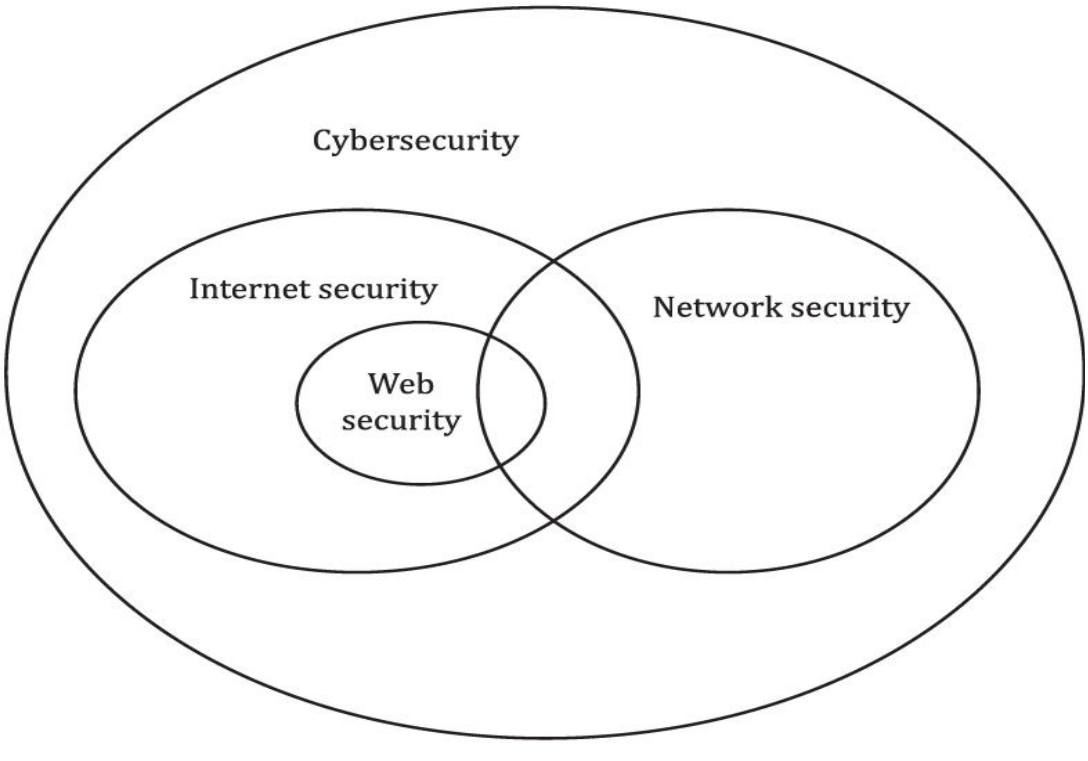


Рис. 6. Термин «кибербезопасность» и взаимосвязь между интернет-безопасностью, веб-безопасностью, сетевой безопасностью и кибербезопасностью в соответствии с ISO/IEC 27032:2023(E)

Тем не менее, для наглядного представления соотношения понятий в используемой терминологии целесообразно представить их в графическом виде (рис. 7).

Аспекты информационной безопасности

В профессиональной среде существует устойчивая тенденция интерпретировать концепцию информационной безопасности в узкоприкладном значении. В результате эта объемное понятие фактически редуцируется до обеспечения защищенности отдельной организации, ИТ-системы или технологической базы. Подобный подход ограничивает базовую задачу лишь реализацией трех фундаментальных критериев – доступности, целостности и конфиденциальности. Кроме того, зачастую происходит необоснованное отождествление информацион-

ной безопасности с комплексом мер по защите информации, хотя с научной точки зрения это совершенно разные понятия [2]. Информационная безопасность – это состояние защищенности, а защита информации – это непрерывный целенаправленный процесс по достижению данного состояния (рис. 8).

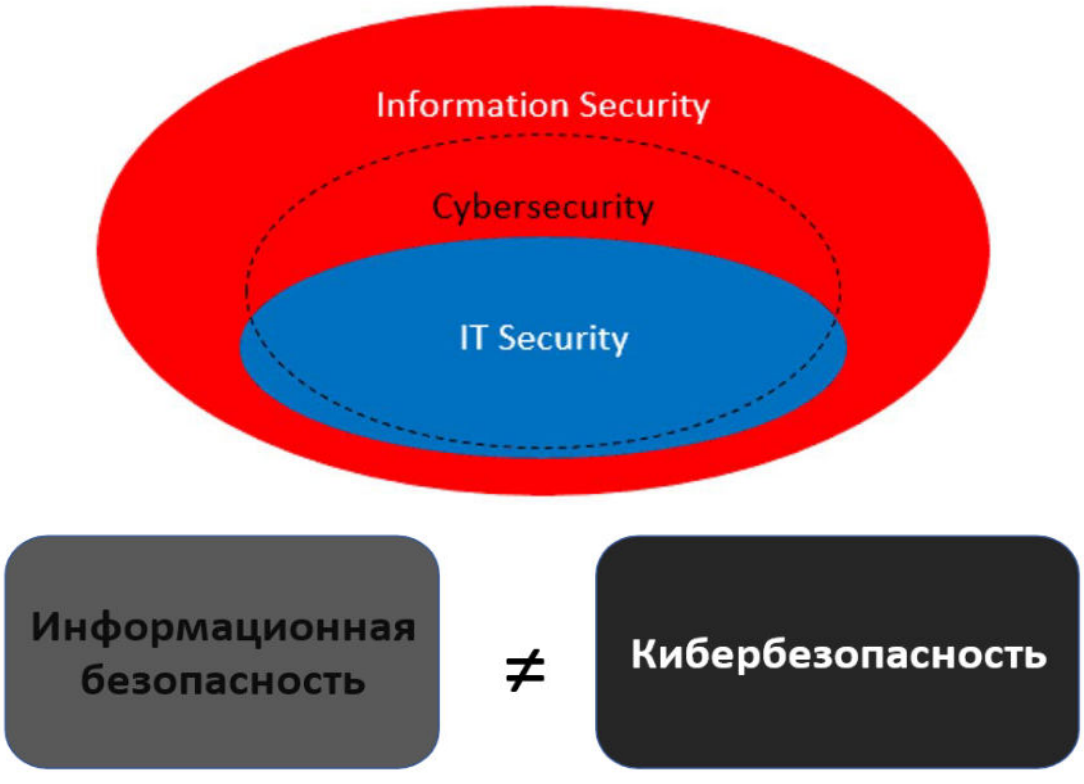


Рис. 7. Иллюстрация семантической связи между понятиями информационной безопасности, кибербезопасности и безопасности ИТ

Защита информации (ЗИ) - деятельность, направленная на предотвращение утечки защищаемой информации, несанкционированных и непреднамеренных воздействий на защищаемую информацию (*ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения)*.

Рис. 8. Защита информации в соответствии с ГОСТ Р 50922-2006

В более широком понимании концепция информационной безопасности не ограничивается исключительно технической охраной данных. Чтобы в полной мере раскрыть эту мысль, целесообразно вновь обратиться к упомянутой ранее официальной трактовке данного термина применительно к Российской Федерации. Согласно этому подходу, важнейшей задачей является ограждение граждан, социума и государственных институтов как от внутренних, так и от внешних угроз в информационной сфере. Иными словами, речь идет о предотвращении разрушительного влияния вредоносного контента, что выводит на первый план гуманитарные аспекты информационной безопасности (ГАИБ) – рис. 9.

Технологии искусственного интеллекта и его правовое поле

Отечественная юридическая база, регулирующая внедрение технологий искусственного интеллекта, представляет собой комплексную иерархию. Она объединяет обширный массив законов, подзаконных актов и специализированных технических регламентов. Базовый свод таких документов наглядно продемонстрирован далее (Рис. 10). Следует также подчеркнуть, что на сегодняшний день отрасль ИИ регламентируется свыше чем 143 утвержденными

национальными стандартами РФ, среди которых присутствуют как классические ГОСТы, так и предварительные нормативы – ПНСТ [3, 4].

Важным шагом стала разработка этического кодекса применения искусственного интеллекта. Указанные меры в комплексе выстраивают полноценную институциональную базу, обеспечивающую процессы разработки, развития и нормативного контроля отрасли ИИ в нашей стране.



Рис. 9. Мультиаспектность информационной безопасности

- Федеральный закон от 24.04.2020 N 123-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта в субъекте Российской Федерации - городе федерального значения Москве, об особенностях обработки персональных данных при формировании региональных составов данных и предоставления доступа к региональным составам данных и внесении изменений в статьи 6 и 10 Федерального закона "О персональных данных"
- Указ Президента РФ от 09.05.2017 N 203 "О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы"
- Указ Президента РФ от 10.10.2019 N 490 (ред. от 15.02.2024) "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" (вместе с "Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года")
- Приказ Минэкономразвития России от 29.06.2021 N 392 "Об утверждении критериев определения принадлежности проектов к проектам в сфере искусственного интеллекта" (Зарегистрировано в Минюсте России 28.07.2021 N 64430)
- Паспорт федерального проекта "**Искусственный интеллект**" национальной программы "Цифровая экономика Российской Федерации" приложение N 3 к протоколу президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 27.08.2020 N 17)
- Перечень поручений по итогам конференции "Путешествие в мир **искусственного интеллекта**« (утв. Президентом РФ 17.01.2024 N Пр-83)

Рис. 10. Список ключевых нормативно-правовых и законодательных документов, регламентирующих отрасль искусственного интеллекта

Для понимания сущности ИИ целесообразно обратиться к ГОСТ Р 59277 («Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта»). Официальная формулировка из этого документа представлена на рис. 11.

ГОСТ Р 59277 **Системы искусственного интеллекта**
КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

п. 3.18

Искусственный интеллект (artificial intelligence): Комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение, поиск решений без заранее заданного алгоритма и достижение инсайта) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека.

Примечание — Комплекс технологических решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение (в том числе, в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных, анализу и синтезу решений.

Рис. 11. Трактовка систем искусственного интеллекта
на основе положений ГОСТ Р 59277-2020

ГОСТ Р 59277-2020 содержит подробную схему систематизации интеллектуальных систем (рис. 12).

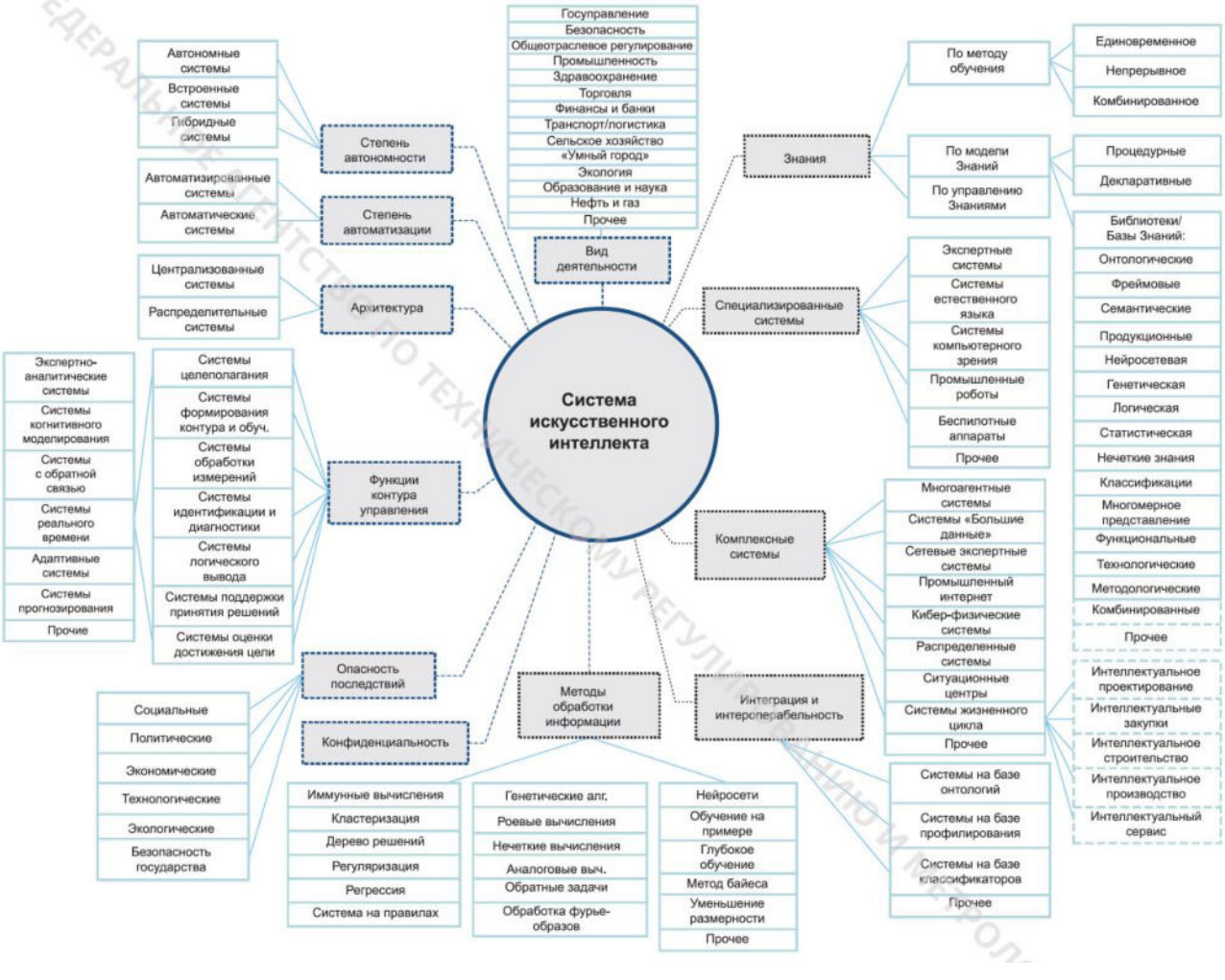


Рис. 12. Типологическая модель интеллектуальных систем,
регламентированная стандартом ГОСТ Р 59277-2020 («Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта»)

Официальным документом, строго регламентирующим технологические векторы применения ИИ, выступает Приказ Минэкономразвития РФ № 392 от 29 июня 2021 года «Об утверждении критериев определения принадлежности проектов к проектам в сфере искусственного интеллекта» (прошел регистрацию в Минюсте 28.07.2021 под № 64430). В приложениях к данному акту подробно расписаны параметры идентификации таких инициатив, а также утвержден реестр профильных технологических задач.

В эту номенклатуру включены следующие базовые направления:

– технологии визуального анализа и компьютерного зрения;

– модели обработки естественного языка;

– механизмы речевого ввода-вывода (распознавание и генерация голоса);

– экспертные интеллектуальные системы поддержки решений;

– инновационные методики в сфере ИИ.

Отдельно стоит подчеркнуть, что на сегодняшний день в Китайской Народной Республике, аналогично отечественной практике, делается серьезный акцент на создание нормативной базы для контроля генеративных нейросетей [5].

Заключение

Результаты представленного обзора и выполненного аналитического исследования свидетельствуют о том, что в сфере защиты информации при использовании технологий искусственного интеллекта необходимы: система, механизм и процесс обеспечения безопасности, основанные на формировании прежде всего правового поля применения высокоинтеллектуальных технологий, как фундаментальной базы для последующей разработки, реализации и совершенствования технических решений для фактического полноценного вхождения в новый технологический уклад, одной из важнейших составляющих которого являются технологии искусственного интеллекта. В противном случае последствия могут быть непредсказуемыми и катастрофическими не только с позиций защиты информации, но и с позиций защиты человека от вредоносной и деструктивной информации, поскольку технологии (ИИ) работают в данном направлении не менее эффективно, чем при проведении технических атак на защищаемые информационные ресурсы.

Список литературы

1. Развитие искусственного интеллекта: что такое AGI, когда он появится, и что потом? // Электронный ресурс. – URL: https://habr.com/ru/amp/publications/911420/ (дата обращения: 10.07.2026).

2. Филяк П. Ю., Пименова В. В. Гуманитарные аспекты информационной безопасности. Подходы. Дискурс (Предыстория) // Информация и безопасность. – 2020. – Т. 23. № 4. – С. 585-596.

3. Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 (ред. от 15.02.2024) «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»).

4. Приказ Минэкономразвития России от 29.06.2021 № 392 «Об утверждении критериев определения принадлежности проектов к проектам в сфере искусственного интеллекта» (Зарегистрировано в Минюсте России 28.07.2021 № 64430).

5. О формировании стандартов регулирования генеративного ИИ в Китае. Аналитический обзор // Центр глобальной ИТ-кооперации // Электронный ресурс. – URL: https://cgitc.ru/research/ (дата обращения: 20.07.2026).

УДК 004.056

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УЧАСТОК АБОНЕНТСКОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ С ЦЕЛЬЮ НЕГЛАСНОГО ПОЛУЧЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Хасанов М.Ш., студент;
Шарипов Р.Р., доцент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

STUDY OF METHODS FOR INFLUENCING A SUBSCRIBER TELEPHONE NETWORK SEGMENT FOR THE PURPOSE OF COVERT ACQUISITION OF ACOUSTIC INFORMATION

Khasanov M.Sh., Student;
Sharipov R.R., Associate Professor of Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В работе исследованы методы несанкционированного воздействия на абонентский участок телефонной сети с целью негласного съёма акустической информации. Проведён анализ физических принципов утечки речевых сигналов, в том числе через акустоэлектрические преобразования в элементах телефонного аппарата. Систематизированы основные способы перехвата – пассивные методы, высокочастотное навязывание и закладные устройства – с выделением их демаскирующих признаков. Рассмотрены методы обнаружения средств негласного съёма информации, включая нелинейную локацию, контроль параметров телефонных линий и инструментальный анализ. Результаты исследования могут быть использованы для формирования подходов к защите речевой информации в проводных каналах связи.

Ключевые слова: абонентская телефонная сеть, утечка информации, негласное получение информации, акустическая информация, технические каналы утечки, закладные устройства, защита информации

Abstract

The paper investigates methods of unauthorized impact on the subscriber telephone network segment aimed at covert acquisition of acoustic information. The analysis of physical principles of speech signal leakage, including through acoustoelectric conversions in telephone set components, is carried out. The main interception methods – passive techniques, high-frequency imposition, and bugging devices – are systematized with emphasis on their unmasking features. Methods for detecting covert information interception means, including nonlinear location, telephone line parameter monitoring, and instrumental analysis, are examined. The results of the study can be used to develop approaches for protecting speech information protection in wired communication channels.

Keywords: subscriber telephone network, information leakage, covert information acquisition, acoustic information, technical leakage channels, wiretapping devices, information protection

Введение

Абонентская телефонная сеть исторически является одним из наиболее уязвимых каналов связи с точки зрения возможности негласного получения акустической информации. Это обусловлено как техническими особенностями передачи речевых сигналов по проводным и беспроводным линиям, так и широкой распространённостью телефонной инфраструкту-

ры. В рамках проведения оперативно-розыскных мероприятий, санкционированных уполномоченными государственными органами, осуществляется перехват телефонных разговоров, что предполагает съем и регистрацию речевых сигналов, транслируемых по каналам коммуникации, с применением специализированного оборудования [1]. Однако те же технические методы могут применяться и в противоправных целях, что делает актуальным исследование данной проблематики.

Каналы утечки акустической информации в телефонных сетях

Телефонная линия представляет собой уникальный объект с точки зрения информационной безопасности. Как отмечается в [2], проводные каналы связи представляют собой наиболее комфортный для пользователей, но одновременно и наименее защищенный способ оперативного обмена информацией в режиме реального времени. Это обусловлено рядом факторов.

Прежде всего, в конструкции абонентского терминала имеются узлы, подверженные возникновению микрофонного эффекта, то есть способные трансформировать звуковое давление в электрический сигнал. В эту категорию входят элементы вызывного устройства, а также разговорные капсюли. В состоянии положенной трубки разговорный тракт физически отсекается от абонентской линии, однако сохраняется угроза съема за счет паразитных акустоэлектрических связей в цепи звонка. Поскольку вырабатываемый при этом полезный сигнал чрезвычайно мал (составляет доли милливольта), злоумышленнику для его регистрации требуется задействовать высокочувствительную приемную аппаратуру [3].

Кроме того, проводная коммуникационная пара способна выступать как среда электропитания для скрытно размещенной аппаратуры перехвата, а также применяться для дистанционной передачи добытых сведений злоумышленнику [4]. Это создаёт дополнительные каналы утечки, не связанные непосредственно с ведением телефонного разговора.

Классификация методов воздействия на телефонную сеть

Методы несанкционированного съёма акустической информации через телефонные сети можно классифицировать по способу подключения и принципу действия [5].

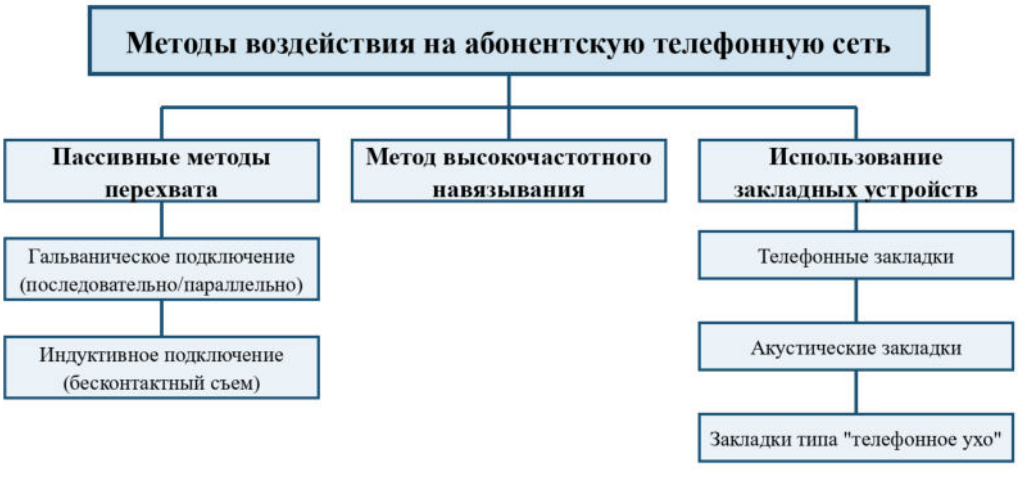


Рис. 1. Классификация методов воздействия на абонентскую телефонную сеть

Пассивные методы перехвата

Пассивные методы основаны на прослушивании разговоров без внесения изменений в работу сети. К ним относится гальваническое или индуктивное подключение средств перехвата к телефонной линии. В первом случае осуществляется непосредственный контакт с проводами линии, во втором – считывание информации через индукционный датчик. Такие методы позволяют прослушивать ведущиеся переговоры с использованием диктофонов или специальных закладочных устройств – телефонных радиоретрансляторов [6].

Метод высокочастотного навязывания

Значительную угрозу представляет технология высокочастотного зондирования (навязывания), позволяющая получать речевую информацию в обход гальванического разрыва микрофонного тракта. Принцип данного метода состоит в дистанционном введении в абонентскую линию ВЧ-сигнала, который за счет паразитных емкостей проникает в элементы телефонного аппарата и модулируется звуковыми колебаниями в помещении. В результате отраженный зондирующий сигнал становится переносчиком конфиденциальной речевой информации, извлекаемой из линии [7].

Использование закладных устройств

Закладные устройства (ЗУ) представляют собой наиболее технологичный метод негласного получения информации. Они могут классифицироваться по типу и месту установки [8].



Рис. 2. Классификация телефонных закладных устройств

Внедряемые телефонные передатчики подсоединяются напрямую к коммуникационным парам и транслируют данные по радиоканалу либо по проводному тракту. К их ключевым выявляемым параметрам относятся: появление несанкционированного радиочастотного сигнала, изменение стандартного входного сопротивления тракта, просадка постоянного напряжения при уложенной микротелефонной трубке, а также фиксация тока потребления при полном отключении оконечного аппарата [9].

Акустические закладки, устанавливаемые в помещении, могут использовать телефонную линию как источник питания, так и канал передачи информации на высокой или низкой частоте. Некоторые модели могут быть закамуфлированы под предметы бытового назначения, что существенно затрудняет их обнаружение.

Закладки типа «телефонное ухо» характерны тем, что позволяют прослушивать помещение через телефонный аппарат даже при положенной трубке. Их демаскирующие признаки схожи с другими типами закладных устройств, но имеют свою специфику [10].

Методы обнаружения средств негласного съёма информации

Для выявления факта несанкционированного доступа к телефонной сети на практике используется ряд методов и инструментов контроля показанные на рис. 3. Рассмотрим эти методы подробнее.

Нелинейные локаторы основаны на специфическом свойстве полупроводниковых материалов генерировать гармоники при облучении их высокочастотным сигналом. Как отмечается в специальной литературе, «существенным отличием метода нелинейной локации от классического наблюдения объектов с активным ответом является прямое преобразование падающей на объект энергии зондирующего сигнала в энергию высших гармоник». Это позволяет обнаруживать закладные устройства, даже если они не работают в данный момент или находятся в режиме ожидания [3].



Рис. 3. Методы обнаружения средств негласного съёма информации

Методы контроля телефонных линий включают измерение сопротивления линии, напряжения, тока утечки, а также анализ спектра сигналов в линии. Отклонения от эталонных значений могут свидетельствовать о наличии подключённых средств перехвата [4].

Инструментальный анализ позволяет обнаружить демаскирующие признаки закладных устройств: наличие несвойственных предмету полупроводниковых элементов, наличие тонких проводов неизвестного назначения, наличие высокочастотного сигнала в линии электропитания [9].

Заключение

В ходе проведённого анализа было установлено:

1. Абонентские телефонные сети, несмотря на развитие цифровых технологий, сохраняют целый ряд технических уязвимостей, делающих их привлекательным объектом для несанкционированного съёма акустической информации.

2. Выявлено, что каналы утечки формируются не только за счёт прямого подключения к линии, но и за счёт вторичных физических эффектов, в частности, акустоэлектрических преобразований в звонковой цепи и микрофонного капсюля, что позволяет вести перехват даже при положенной трубке.

3. Рассмотренные методы воздействия на абонентский участок сети демонстрируют широкий спектр угроз. При этом каждый из методов имеет специфические демаскирующие признаки, например, изменение сопротивления линии, токи утечки, наличие высокочастотных излучений и др., знание которых является основой для их своевременного выявления.

4. Проанализированные методы обнаружения средств негласного съёма информации – нелинейная локация, контроль параметров телефонных линий и инструментальный анализ – позволяют эффективно противодействовать угрозам на различных этапах их реализации.

Таким образом, понимание физических основ работы телефонных сетей, классификации методов перехвата и способов выявления закладных устройств является необходимым условием для квалифицированного противодействия угрозам, что подтверждает актуальность темы для дальнейшего изучения в рамках специальных дисциплин.

Список литературы

1. Об оперативно-розыскной деятельности : Федеральный закон от 12.08.1995 № 144-ФЗ. – URL: https://pravo.gov.ru (дата обращения: 07.07.2026). – Текст : электронный.

2. Шарипов, Р. Р. Исследования скорости передачи данных в PLC сети в учебной лаборатории / Р. Р. Шарипов, А. Ф. Фатхелисламов // Информ. технологии обеспечения комплексной безопасности : материалы Всерос. молодеж. науч.-практ. конф., Уфа, 2023. – Уфа : Уфим. ун-т, 2023. – С. 55–60.

3. Аникин, И. В. Методы и средства защиты компьютерной информации : учебное пособие / И. В. Аникин, В. И. Глова, А. Н. Нигматуллина. – Казань : Казанский государственный технический университет, 2008. – 120 с. – Текст : непосредственный.

4. Степанов, М. О. Анализ современных закладных устройств / М. О. Степанов // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025 : сб. тез. докл. Междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Казань, 2025. – Казань : ИП Сагиев А. Р., 2025. – С. 763–765.

5. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин. – Текст : непосредственный // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28–34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34.

6. Степанов, М. О. Методы защиты от утечки информации по акустическим каналам / М. О. Степанов, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Казань, 2025. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2025. – С. 2315–2317.

7. Титов, А. А. Инженерно-техническая защита информации : учебное пособие / А. А. Титов. – Томск : ТУСУР, 2010. – 195 с. – URL: https://edu.tusur.ru/publications/654 (дата обращения: 07.07.2026). – Текст : электронный.

8. Аникин, И. В. Метод количественной оценки уровня ущерба от реализации угроз на корпоративную информационную сеть / И. В. Аникин. – Текст : непосредственный // Информационные технологии. – 2010. – № 1. – С. 2–6.

9. Хорев, А. А. Техническая защита информации : учебное пособие для студентов вузов. В 3 т. Т. 1. Технические каналы утечки информации / А. А. Хорев. – Москва : НПЦ «Аналитика», 2008. – 436 с. – Текст : непосредственный.

10. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov. – Text : direct // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, № 3-4. – P. 97–103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010.

УДК 004.056

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЗАЩИТЫ АБОНЕНТСКОГО УЧАСТКА ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ

Хасанов М.Ш., студент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

LABORATORY STAND FOR THE PROTECTION OF A TELEPHONE NETWORK SUBSCRIBER SECTION

Khasanov M.Sh., Student of Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье представлены результаты разработки лабораторного стенда, созданного на кафедре систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ для исследования защиты абонентских участков телефонных сетей от утечки речевой информации. Проанализированы основные каналы утечки: микрофонный эффект звонковых цепей и высокочастотное навязывание. Описана функциональная схема стенда и комплекс защиты на базе контроллера «КТЛ-400», обеспечивающего мониторинг параметров линии (напряжение, ток, емкость, сопротивление) и активное подавление в режимах гальванической изоляции, компенсации на-

пряжения и шумовой маскировки. Рассмотрены методы выявления параллельного и последовательного подключения закладных устройств, а также методика экспериментальной оценки пассивных (разрыв цепи микрофона) и активных методов защиты. Разработанное методическое обеспечение направлено на формирование практических компетенций студентов в области инженерно-технической защиты информации.

Ключевые слова: лабораторный стенд, защита информации, абонентский участок, телефонная сеть, утечка акустической информации, микрофонный эффект, высокочастотное навязывание, КТЛ-400

Abstract

The article presents the results of developing a laboratory stand at the Department of Information Security Systems of KNRTU-KAI for studying the protection of subscriber sections of telephone networks from voice information leakage. The main leakage channels are analyzed: the microphone effect of ringing circuits and high-frequency imposition. The functional diagram of the stand and a protection complex based on the "KTL-400" controller are described, which provides line parameter monitoring (voltage, current, capacitance, resistance) and active suppression in the modes of galvanic isolation, voltage compensation, and noise masking. Methods for detecting parallel and series connection of eavesdropping devices, as well as a methodology for experimental evaluation of passive (microphone circuit break) and active protection methods are considered. The developed methodological support is aimed at developing students' practical competencies in the field of engineering and technical information protection.

Keywords: laboratory stand, information security, subscriber section, telephone network, acoustic information leakage, microphone effect, high-frequency imposition, KTL-400

Актуальность

Обеспечение конфиденциальности переговоров, ведущихся в служебных и выделенных помещениях органов государственной власти и коммерческих предприятий, является ключевой задачей технической защиты информации.

Наиболее уязвимым звеном телекоммуникационных систем являются абонентские линии аналоговых телефонных сетей общего пользования (ТСОП). Их большая протяженность и прохождение за пределами охраняемого периметра объектов позволяют злоумышленникам скрытно перехватывать речевой сигнал [1, 2]. Опасность представляют пассивные и полуактивные каналы утечки акустической информации, не требующие гальванического контакта с линией. К ним относятся микрофонный эффект разговорных и вызывных цепей телефонных аппаратов (ТА), а также утечка за счет высокочастотного (ВЧ) навязывания [3]. Микрофонный эффект обусловлен акустоэлектрическим преобразованием в элементах вызывного устройства: акустические колебания вызывают вибрацию якоря в магнитном поле, что индуцирует в цепи слабый речевой сигнал [4, 5]. Канал ВЧ-навязывания образуется при подаче в линию высокочастотного зондирующего сигнала, который модулируется элементами ТА, которые меняют свои параметры под воздействием звуковых волн [6, 7].

Схема лабораторного стенда и комплекса защиты

На кафедре систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ создан лабораторный стенд для исследования методов противодействия несанкционированному вмешательству в абонентский участок телефонной сети. Конфигурация стенда ориентирована на изучение физических параметров телефонных линий при различных положениях трубки, защищаемых ТА, а также на анализ функционирования средств активного подавления [8, 9].

Функциональная схема лабораторного стенда представлена на рисунке 1. Стенд содержит вводную цепь электропитания с электрощитом (ЭЩ), коммутируемую телефонную линию, два исследуемых телефонных аппарата (ТА П1 и ТА П5), а также измерительные и защит-

ные приборы. Комплекс защиты в структуре стенда представлен контроллером телефонных линий «КТЛ-400» (П2). Защита телефонного тракта от акустической утечки реализуется посредством гальванической изоляции линии (при положенной трубке) и спектрального зашумления / амплитудно-полярной компенсации (при поднятой трубке) с помощью контроллера «КТЛ-400».

Коммутаторы К1, К2 и К3 выполняют роль распределительных узлов абонентского участка, позволяя изменять архитектуру подключения защищаемых и анализирующих цепей. С помощью линейного переключателя КЛ1 осуществляется оперативное отключение абонентского тракта от внешней линии. Вольтметр П4 служит для визуализации напряжений в различных режимах ТА.

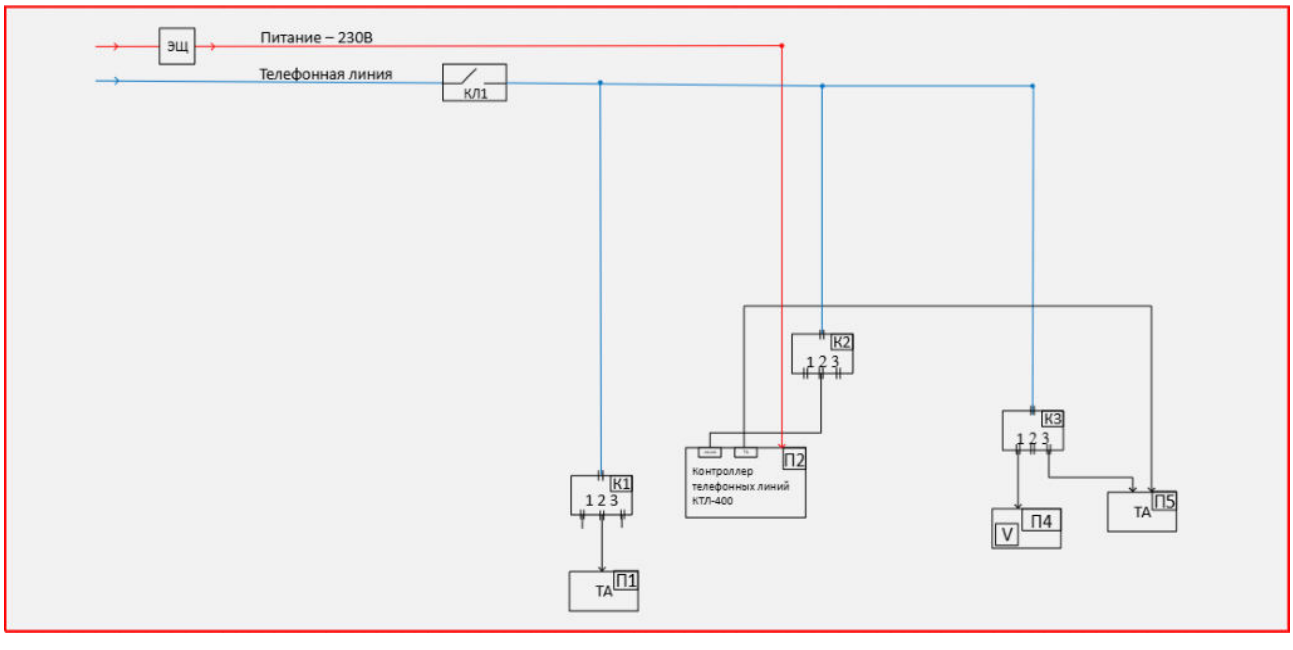


Рис. 1. Функциональная схема лабораторного стенда

Компоненты лабораторного стенда

Лабораторный стенд включает в себя:

1. Вводной электрощит (ЭЩ) – распределительный щит переменного тока (~230 В, 50 Гц), обеспечивающий электропитание контроллера «КТЛ-400».

2. Телефонный аппарат ТА П1 – стандартный аналоговый ТА, используемый для демонстрации несанкционированного подключения к линии.

3. Телефонный аппарат ТА П5 – специализированный ТА, оснащенный встроенным пассивным элементом защиты – переключателем микрофона КЛ2. При укладывании трубки переключатель КЛ2 гальванически разрывает цепь микрофона, исключая акустическую утечку через разговорный тракт.

4. Контроллер телефонных линий «КТЛ-400» (обозначен на схеме как прибор П2) – микропроцессорное устройство контроля параметров абонентского участка. Прибор измеряет напряжение, ток и емкость линии. В режиме защиты «КТЛ-400» обеспечивает гальваническую развязку линии в состоянии положенной трубки (отсекая акустику звонка) и снижает постоянное напряжение линии в состоянии поднятой трубки (режим компенсации «КОМП»), лишая питания подслушивающие микрофонные системы. КТЛ-400 также оснащен встроенным источником маскирующего низкочастотного шума речевого диапазона [10].

5. Вольтметр (прибор П4) – аналого-цифровой измеритель напряжения, позволяющий фиксировать уровень постоянной составляющей напряжения линии при поднятой или положенной трубке, а также при компенсации напряжения телефонной линии.

6. Коммутационные ключи К1, К2, К3 – переключатели, используемые для перенаправления сигналов телефонной линии в разговорный тракт ТА, измерительный вольтметр или подключения дополнительных имитаторов закладных устройств (ЗУ).

Методы измерения

На лабораторном стенде применяются следующие методы измерений:

1. Измерения в режиме положенной трубки ТА

Гальваническая изоляция: ТА автоматически отключается от линии (горит индикатор «ОТКЛ ТА» на КТЛ-400), что исключает утечку за счет микрофонного эффекта звонка и ВЧ-навязывания.

Измерение напряжения постоянного тока:

– Цифровой индикатор КТЛ-400 показывает постоянное напряжение линии, которое из-за работы встроенного генератора шума увеличивается примерно на 2 В относительно чистого статического напряжения АТС (приблизительно 55…58 В для местной АТС);

– Метод обнаружения параллельного съема: если текущее измеренное напряжение при положенной трубке снижается на 2 В по сравнению с эталонным (ранее записанным), это указывает на вероятное параллельное подключение прослушивающего устройства (с внутренним сопротивлением около 100 кОм);

– Порог тревоги: если напряжение падает ниже 30 В (что происходит при попытке перехвата линии, активации «телефонного уха» или подключении параллельного телефона), срабатывает индикатор и звуковой сигнал «ТРЕВОГА».

2. Измерения в режиме поднятой трубки ТА

Режим компенсации («КОМП»): прибор автоматически снижает и поддерживает минимально возможное постоянное напряжение на линии во время разговора, лишая питания параллельные закладки.

Измерение напряжения на клеммах разговорной цепи:

– При поднятой трубке прибор измеряет и индицирует падение напряжения на самом телефонном аппарате;

– При выявлении последовательной врезки снижение измеряемого вольтметром напряжения на 0,5 В относительно номинального значения в свободной линии указывает на возможное включение в разрыв цепи шпионского прибора, обладающего внутренним сопротивлением порядка 500 Ом.

3. Режим автоматического сканирования характеристик линии

После активации кнопки «ПУСК» происходит физическое отключение ТА от телефонной линии длительностью 4 минуты. В это время прибор КТЛ-400 выполняет измерение ее емкости, индуктивности и сопротивления, используя два алгоритма:

– «Режим 1» – имитация снятия трубки (измерения под рабочей нагрузкой);

– «Режим 2» – имитация уложенной трубки (измерения в режиме холостого хода).

Путем сопоставления текущих и ранее сохраненных значений контроллер делает заключение: при выявлении параллельного шунтирования активируется светодиод «ПАРАЛЛ», а при обнаружении последовательного разрыва цепи – светодиод «ПОСЛЕД».

Порядок проведения лабораторной работы «Защита телефонных коммуникаций от перехвата с помощью «КТЛ-400»

Лабораторная работа рассчитана на 4 академических часа. В рамках первого занятия студенты изучают теоретический материал и отвечают на контрольные вопросы. Второе занятие полностью отводится под проведение измерений. Схема организации учебного процесса представлена на рисунке 2. На входе процесса используются методические указания и исходные теоретические положения. Выходом процесса являются усвоенные знания и практические навыки студентов. Преподаватель координирует работу: проводит инструктаж по технике безопасности, консультирует студентов при сборке схем и оценивает результаты их ответов.

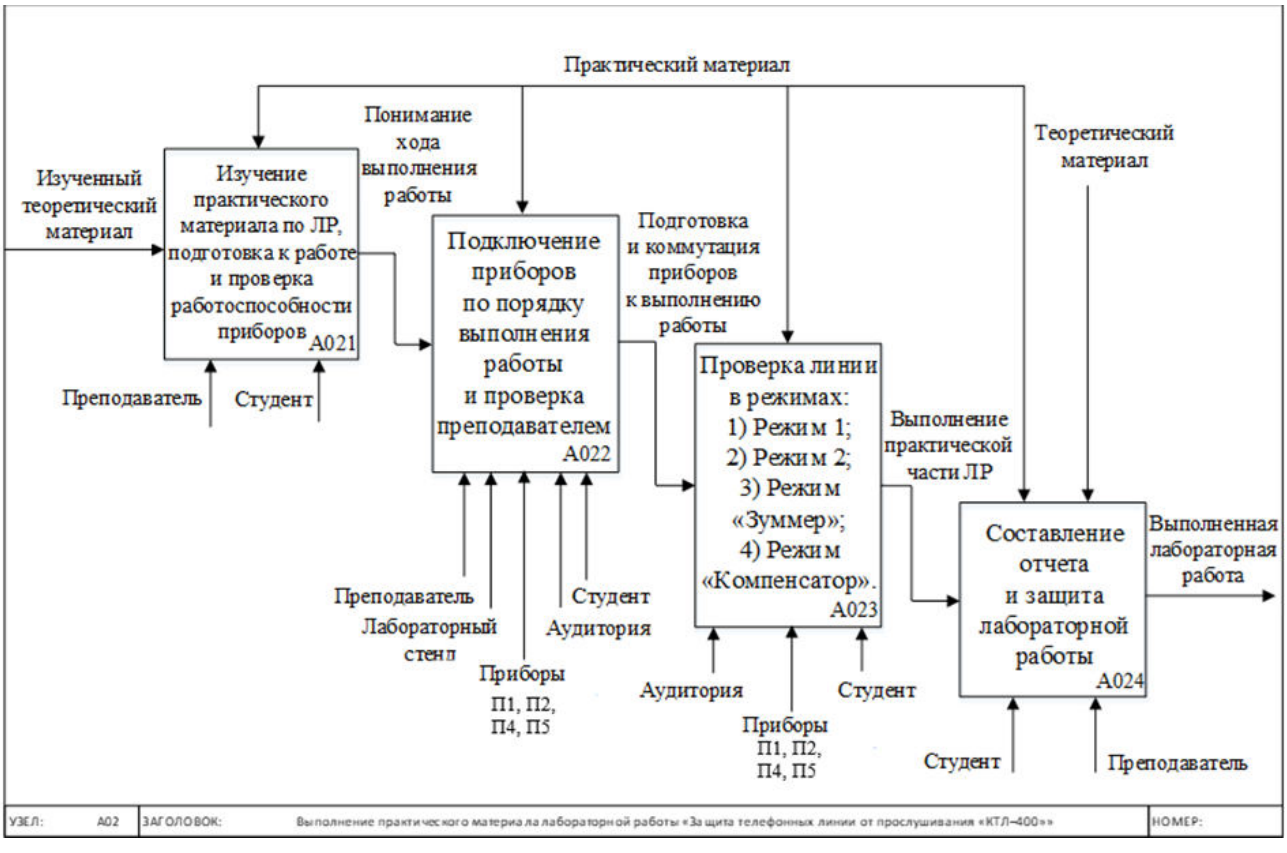


Рис. 2. Методика проведения лабораторной работы

Практическая часть включает ознакомление с правилами техники безопасности, изучение схемы стенда, коммутацию и проверку работоспособности приборов. После контроля правильности сборки преподавателем студенты приступают к измерениям. Эксперимент заключается в тестировании телефонной линии с помощью прибора «КТЛ-400» в четырех режимах: «Режим 1», «Режим 2», «Зуммер» и «Компенсатор». По итогам работы студенты составляют отчет, содержащий результаты измерений. Регламентирующим документом процесса выступает методическое пособие. В ходе выполнения работы преподаватель контролирует соблюдение правил безопасности, верность коммутации цепей и консультирует обучающихся.

Заключение

На кафедре СИБ КНИТУ – КАИ разработан и внедрен учебный стенд для исследования физических основ возникновения каналов акустической утечки в абонентских шлейфах ТСОП и оценки средств защиты. Лабораторная установка позволяет моделировать микрофонный эффект и ВЧ-навязывание, а также обучать студентов методам поиска несанкционированных подключений с помощью анализатора «КТЛ-400». Эксперименты показали, что совместное применение пассивной гальванической развязки (переключатель КЛ2 в телефонном аппарате П5) и активных режимов работы контроллера (компенсация напряжения и генерация маскирующей помехи) подавляет каналы утечки как в режиме ожидания, так и во время разговора. Разработанные методические материалы к лабораторной работе ориентированы на практическую подготовку студентов в области инженерно-технической защиты информации и служат основой для дальнейших исследований характеристик абонентских линий.

Список литературы

1. Степанов, М. О. Методы защиты от утечки информации по акустическим каналам / М. О. Степанов, Р. Р. Шарипов // Цифровые системы и модели : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Казань, 2025. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2025. – С. 2315–2317.

2. Garaeva A., Makhmutova F., Anikin I., Sattler K.U. A framework for co-location patterns mining in big spatial data // 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). – Piscataway, NJ : IEEE, 2017. – P. 477-480.

3. Шарипов, Р. Р. Исследования скорости передачи данных в PLC сети в учебной лаборатории / Р. Р. Шарипов, А. Ф. Фатхелисламов // Информ. технологии обеспечения комплексной безопасности : материалы Всерос. молодеж. науч.-практ. конф., Уфа, 2023. – Уфа : Уфим. ун-т, 2023. – С. 55–60.

4. Степанов, М. О. Анализ современных закладных устройств / М. О. Степанов // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025 : сб. тез. докл. Междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Казань, 2025. – Казань : ИП Сагиев А. Р., 2025. – С. 763–765.

5. Бондаренко, В. В. Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов / В. В. Бондаренко, Р. Р. Шарипов, Р. А. Олин. – Текст : непосредственный // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 7. – С. 28–34. – DOI 10.26118/2782-4586-2026-28-34.

6. Nguyen, Ph. H. A real-time deep learning framework for anomaly detection in data streams using Apache Spark / Ph. H. Nguyen, R. R. Sharipov. – Text : direct // Soft Measurements and Computing. – 2026. – Vol. 100, No. 3-4. – P. 97–103. – DOI 10.36871/26189976.2026.03-4.010.

7. Титов, А. А. Инженерно-техническая защита информации : учебное пособие / А. А. Титов. – Томск : ТУСУР, 2010. – 195 с. – URL: https://edu.tusur.ru/publications/654 (дата обращения: 07.07.2026). – Текст : электронный.

8. Аникин, И. В. Метод количественной оценки уровня ущерба от реализации угроз на корпоративную информационную сеть / И. В. Аникин. – Текст : непосредственный // Информационные технологии. – 2010. – № 1. – С. 2–6.

9. Хорев, А. А. Техническая защита информации : учебное пособие для студентов вузов. В 3 т. Т. 1. Технические каналы утечки информации / А. А. Хорев. – Москва : НПЦ «Аналитика», 2008. – 436 с. – Текст : непосредственный.

10. Юсупов Б.З. Разработка лабораторного стенда охранно-пожарной сигнализации по дисциплине технические средства охраны // XXV Туполевские чтения. Казань, 2021. Т. V. С. 758–763.

УДК 004.032.26

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ РАСПОЗНАВАНИЯ ДИПФЕЙКОВ

Черкасов П.А., магистрант;
Хусаинов Р.М., ассистент;
ORCID: 0000-0003-4985-7833;
Талипов Н.Г., к.т.н., доцент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-0528-0473

A NEURAL NETWORK MODEL FOR DEEPFAKE DETECTION

Cherkasov P.A., Undergraduate Student;
Khusainov R.M., Assistant;
ORCID: 0000-0003-4985-7833;
Talipov N.G., PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-0528-0473

Аннотация

В статье представлена задача распознавания дипфейков на изображениях с использованием нейросетевой модели. Проведен обзор исследований по теме распознавания дипфейков, изучены актуальные проблемы и направления исследований. Для решения поставленной задачи анализируются типы нейронных сетей и используемых типов архитектур, их преимущества и недостатки. По результатам сравнительного анализа выбрана нейросетевая модель Xception. Подходящий набор данных для обучения модели Xception взят из ресурса Kaggle. В наборе данных содержатся 983 изображения, разделенных по классам «real» и «fake». Для программной реализации нейросетевой модели Xception использованы пакет программ Google Colaboratory, язык программирования Python (версия 3.13). Набор данных разделен на выборки: обучающую (687 изображений), валидационную (148 изображений) и тестовую (148 изображений). Обучение модели Xception длилось 20 эпох. Точность распознавания модели на обучающей выборке составила 98,36%, на валидационной выборке – 78,38%, на тестовой выборке – 76,35%. В тестовой выборке для класса «real» правильно распознано 50 изображений, ошибочно распознано – 16 изображений, для класса «fake» правильно распознано – 63 изображений, ошибочно распознано – 19 изображений. Улучшена точность распознавания дипфейков на основе аугментации данных из обучающей выборки. После переобучения модели с использованием аугментированных данных средний прирост точности на тестовой выборке составил не более 5%. С целью развития научного направления, связанного с распознаванием дипфейков, целесообразно расширение и улучшение качества набора данных, совершенствование нейросетевой модели, использование сложных архитектур для обучения новых нейросетевых моделей, а также алгоритмов обучения для исключения недостатка вычислительных ресурсов.

Ключевые слова: дипфейк, искусственный интеллект, нейронная сеть, нейросетевая модель, распознавание дипфейков, точность распознавания

Abstract

The article presents the problem of recognizing deepfakes in images using a neural network model. A review of studies on deepfake recognition is provided, and current problems and research directions are examined. To solve the task, types of neural networks and their architectural types are analyzed, along with their advantages and disadvantages. Based on the results of the comparative analysis, the Xception neural network model was selected. A suitable dataset for training the Xception model was taken from the Kaggle resource. The dataset contains 983 images, divided into «real» and «fake» classes. For the software implementation of the Xception neural network model, the Google Colaboratory software package and the Python programming language (version 3.13) were used. The dataset is divided into sets: training (687 images), validation (148 images), and test (148 images). The Xception model was trained for 20 epochs. The recognition accuracy of the model was 98,36% on the training set, 78,38% on the validation set, and 76,35% on the test set. In the test set, 50 images were correctly recognized for the «real» class, with 16 images being misclassified. For the «fake» class, 63 images were correctly recognized, with 19 images being misclassified. The recognition accuracy of deepfakes was improved through data augmentation of the training set. After retraining the model augmented data, the average increase in the test set accuracy did not exceed 5%. In order to develop the scientific field related to deepfake recognition, it is advisable to expand and improve the quality of the dataset, refine the neural network model, use complex architectures for training new neural network models, and use training algorithms to eliminate the lack of computing resources.

Keywords: deepfake, artificial intelligence, neural network model, deepfake recognition, recognition accuracy

Введение

Для решения задачи распознавания ложной информации (дипфейков) используются общепризнанные понятия и определения, применяемые в общении и средствах массовой информации «фейк» (fake) и «дипфейк» (deepfake).

Впервые данный термин «deepfake» появился в 2017 г., когда один из пользователей платформы Reddit под ником «deepfake» выложил видео порнографического содержания с замененными лицами актеров. Пользователь осуществил замену с использованием моделей искусственного интеллекта (далее – ИИ). Такой контент называется дипфейком.

Дипфейк – это синтетически созданный медиаконтент (изображения, видео или аудио), который с высокой степенью реалистичности имитирует реальные записи [1]. В более широком смысле дипфейк – любая разновидность контента, сгенерированная с использованием алгоритмов ИИ и не отличимого от реального. Из рассмотренных понятий можно сделать вывод, что для создания дипфейков обычно используют методы, а также алгоритмы ИИ. Дипфейк объединяет понятия «глубокое обучение» и «подделка», подчеркивая использование алгоритмов ИИ для создания реалистичных фальшивок. Дипфейки можно разделить на разные категории, такие как подделка голоса, создание графических изображений или видео.

В области кибербезопасности настоящее время недостаточно исследовано распознавание дипфейков на изображениях. Во-первых, дипфейки можно распознать невооруженным глазом из-за сгенерированного изображения. К таким дипфейкам можно отнести картинки с неестественными физическими явлениями, ошибками генерации изображения (например, ошибочное количество пальцев) или фантастического содержания изображения. Во-вторых, дипфейки, выполненные на более высоком уровне, не каждый специалист сможет с точностью распознать [2-4].

В связи с распространением дипфейков, создающих серьезные риски для кибербезопасности, и сложностью их распознавания предложено использовать нейронные сети для решения данной задачи. Нейронные сети распознают дипфейки по артефактам генерации изображения. К таким артефактам можно отнести шумовые паттерны при генерации изображения GAN-архитектурами или неестественные текстуры кожи на сгенерированных изображениях.

Цель исследования заключается в построении нейросетевой модели распознавания дипфейков на изображениях.

Научная значимость исследования заключается в реализации нейросетевой модели в условиях ограниченности вычислительных ресурсов.

Практическая значимость исследования: возможности применения нейросетевой модели распознавания дипфейков в средствах массовой информации (социальные сети, мессенджеры).

Пусть имеется множество изображений I. Каждое изображение I с размерами $W \times H$ принадлежит одному из двух классов: $y = 0$ – реальное изображение (real); $y = 1$ – дипфейк (fake).

Множество изображений I разделено на три выборки:

– обучающая выборка: $I_{train} = \{(I_i, y_i)\}_{i=1}^{N_{train}}$;

$I_{train} = \{(I_i, y_i)\}_{i=1}^{N_{train}}$;

– валидационная выборка: $I_{val} = \{(I_j, y_j)\}_{j=1}^{N_{val}}$;

– тестовая выборка: $I_{test} = \{(I_k, y_k)\}_{k=1}^{N_{test}}$.

Требуется построить модель распознавания F: $I \rightarrow \{0,1\}$, которая позволяет рационально классифицировать классы на тестовой выборке.

Обзор исследований

В последнее время направление активно развивается, ведутся исследования по распознаванию дипфейков. В работе [5] исследование направлено на выявление общих для всех моделей артефактов генерации. Исследователи заметили, что детекторы либо хорошо обучаются на знакомых артефактах генерации, пропуская более универсальные артефакты генерации,

либо специально плохо обучаются на знакомых артефактах для лучшего распознавания незнакомых артефактов генерации. В ходе исследования предложена архитектура с двумя параллельными ветвями, где первая ветвь обрабатывает исходное изображение, а вторая – искаженную версию этого изображения, созданную с использованием перемешивания патчей (patch shuffling). В результате модель вынуждена обращать внимание на артефакты, найденные в обоих версиях, что повышает точность распознавания.

В работе [6] анализируется проблема существующих датасетов для обучения нейронных сетей. Существующие датасеты (FaceForensics++, Celeb-DF) создаются в лабораторных условиях с использованием открытых исследовательских проектов. В реальности злоумышленник использует все доступные инструменты для создания реалистичного дипфейка, начиная от онлайн-платформ, заканчивая дополнительной обработкой готового изображения. В результате исследователи используют популярные инструменты создания дипфейков для имитации действий пользователей или злоумышленников в целях подготовки точного датасета – readface. При проверке на существующих детекторах разрыв точности между использующимися датасетами и readface достигает 40-50%.

Анализ типов нейронных сетей

Классификация изображений, в том числе и распознавание дипфейков – это ключевая задача компьютерного зрения. В задаче классификации изображений входом является изображение, а выходом метка класса (например, «real», «fake»), которая обычно описывает содержимое изображения [7-9].

Сравнительный анализ нейронных сетей представлен в таблице 1 [10-12].

Таблица 1

Обобщенный анализ типов нейронных сетей

Название нейронной сети	Функциональность	Преимущества	Недостатки
Сети прямого распространения (FFNN)	Передача информации от входа к выходу, моделирование логических операций, обработка табличных данных.	Простота реализации, универсальность, гибкость, подходит для табличных данных.	Неэффективность при обработке сложных данных (изображения, текст), чувствительность к переобучению.
Сверточная нейронная сеть (CNN)	Обработка графической и аудио информации фрагментарно, последовательный анализ данных с использованием сверточных слоев и слоев объединения.	Эффективность работы с пространственными данными, устойчивость к трансформациям данных.	Требуют больших вычислительных ресурсов.
Генеративные состязательные сети (GAN)	Генерация данных через взаимодействие двух сетей: генератора (создает данные) и дискриминатора (анализирует подлинность).	Генерация высококачественных данных, способность создавать реалистичные синтетические данные.	Сложность обучения, чувствительность к гиперпараметрам, необходимость баланса между генератором и дискриминатором.
Автоэнкодеры (AE)	Автоматическое кодирование и сжатие информации через симметричную архитектуру с узким скрытым слоем.	Обучение без учителя, эффективное сжатие данных, выявление скрытых закономерностей.	Ограниченная эффективность с комплексными данными, потенциально низкое качество восстановления сложных данных.

По результатам сравнительного анализа типов нейронных сетей для решения задачи распознавания дипфейков целесообразно использовать сверточную нейронную сеть (CNN) [13].

Анализ типов архитектур сверточных нейронных сетей

Для решения задачи распознавания дипфейков нет необходимости обучать нейронную сеть с нуля. Достаточно выбрать один из перечисленных типов сверточных нейронных сетей для практической реализации. Ниже описаны используемые архитектуры сверточных нейронных сетей.

Сравнительный анализ архитектур сверточных нейронных сетей представлен в табл. 2.

Таблица 2

Обобщенное описание архитектур сверточных нейронных сетей

Название сверточной нейронной сети	Функциональность и свойства	Преимущества	Недостатки
LeNet	Архитектура для распознавания простых образов. Первая успешная практическая реализация CNN, заложившая фундаментальные принципы	Простота архитектуры, эффективность для базовых задач	Непригодна для сложных задач и больших изображений
AlexNet	Значительно усложнила и углубила идеи архитектуры LeNet. Ключевые инновации: использование функции активации ReLU для ускорения обучения, применение слоя Dropout для борьбы с переобучением и использование процессора GPU для вычислений.	Глубокая архитектура, использование процессора GPU для ускорения обучения нейронной сети).	Высокая вычислительная сложность, чувствительность к гиперпараметрам.
ZFNet	Особенность архитектуры – использование техник визуализации активаций слоев для понимания того, что именно изучает сеть. Это позволило обоснованно изменить гиперпараметры.	Инструмент для анализа работы слоев, улучшенная архитектура.	Высокие вычислительные затраты.
GoogLeNet	Архитектура для эффективности через параллельные вычисления. Основное нововведение – революционный Inception-модуль, который заменяет выбор размера фильтра на их параллельное применение в одном слое.	Inception-модули снижают параметры без потери точности, параллельные свертки.	Сложность реализации, отсутствие унифицированного подхода.
VGGNet	Построение глубокой сети с использованием небольших фильтров 3×3.	Простота и модульность, глубина, высокая точность.	Огромное количество параметров, медленное обучение.

Окончание табл. 2

Название сверточной нейронной сети	Функциональность и свойства	Преимущества	Недостатки
ResNet	Использование остаточных блоков с пропускными связями для борьбы с затуханием градиента.	Решение проблемы исчезающего градиента.	Требование к большим данным.
Xception	Эволюция Inception через экстремальную декомпозицию. Развивает идею Inception, заменяя стандартные свертки на глубинные separable свертки.	Высокая эффективность, экономичное использование параметров.	Требования больших объемов памяти, сложность реализации.

По результатам сравнительного анализа типов архитектур сверточных нейронных сетей для решения задачи распознавания дипфейков целесообразно использовать модель Xception [14, 15].

Обучение и тестирование нейронной сети Xception

Выбранную модель Xception в рамках данного исследования реализована в следующем исполнении. Слои нейронной сети Xception представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание слоев нейронной сети Xception

Layer (type)	Output Shape	Param #
Xception (Functional)	(None, 2048)	20,861,480
dropout_2 (Dropout)	(None, 2048)	0
dense_2 (Dense)	(None, 128)	262,272
batch_normalization_9	(None, 128)	512
dropout_3 (Dropout)	(None, 128)	0
dense_3 (Dense)	(None, 1)	129

1 слой – анализирует входное изображение через 71 слой глубинных сверток, извлекает 2048 визуальных признаков.

2 слой – в случайном порядке отключает 30% нейронов во время обучения, что уменьшает переобучение модели.

3 слой – преобразование 2048 входных значений в 128 скрытых представлений, выявление зависимостей между различными артефактами при обнаружении дипфейков.

4 слой – нормализация выхода предыдущего слоя.

5 слой – в случайном порядке отключает 20% нейронов во время обучения, что уменьшает переобучение модели на более высокоуровневых признаках.

6 слой – классификация изображения на реальные изображения и дипфейки.

Для обучения, проверки и тестирования нейросетевой модели необходимо сформировать выборки, называемые датасетом (dataset). В связи со сложностью процесса самостоятельной подготовки данных для обучения нейросетевой модели поиск готового набора данных осуществлялся на следующих ресурсах: Kaggle [16], Dataset search (Google) [17], реестр открытых данных на AWS [18], открытые наборы данных Microsoft Azure [19], Reddit Datasets [20], репозиторий машинного обучения UCI [21]. На ресурсе Kaggle найден подходящий набор данных с реальными изображениями и дипфейками. Примеры реальных изображений представлены на рис. 1, 2.



Рис. 1. Пример изображения из раздела «real»



Рис. 2. Пример изображения из раздела «real»

Отличия реального изображения от дипфейка проявляются в разных аспектах: в деталях, освещении, искажениях объектов. Например, искажение деталей лица человека или окружающей среды (кожа выглядит слишком гладкой, уши имеют странную форму, множество нереальных или ложных мелких объектов в окружающей среде). В дипфейках могут отражаться неестественные перепады света или тени. При создании дипфейков могут применяться реальные изображения с заменой их или наложением отдельных фрагментов.

В наборе данных содержится 983 изображения, разделенных на папки «real» и «fake». Изображения имеют формат «.jpg».

Программная реализация нейросетевой модели

Для программной реализации модели Xception использованы пакет программ Google Colaboratory, язык программирования Python (версия 3.13). Импорт выборки данных для обучения, проверки и тестирования модели Xception проводится с использованием программного кода. Выборка скачивается автоматически, определяются пути к данным выборки. Все изображения делятся на выборки: обучающая – 687 изображений, валидационная – 148 изображений, тестовая – 148 изображений. Функция преобразования изменяет входные данные под требования модели Xception. Обучение модели Xception длилось 20 эпох.

В качестве результата модель Xception выдает файл формата «.xlsx», содержащий имена изображений и результат распознавания. Моделью могут обрабатываться изображения форматов «.png», «.jpg», «.jpeg».

В ходе обучения модели отображалась функция потерь (loss) для каждой эпохи. Фрагмент процесса обучения представлен на рис. 3.

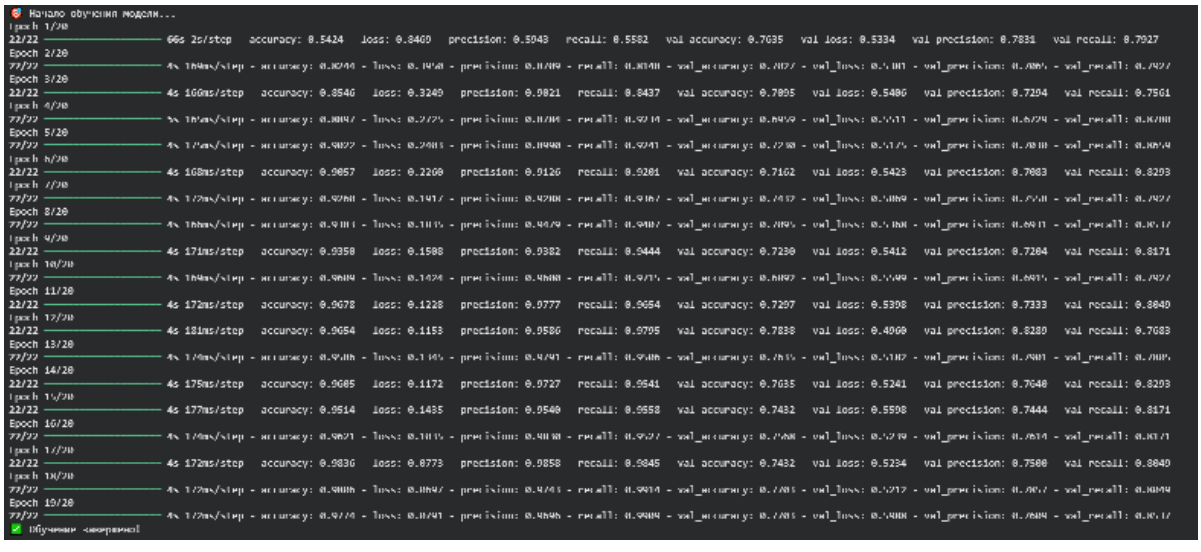


Рис. 3. Отображение прогресса обучения

Графики, визуализирующие процесс обучения модели, представлены на рис. 4.

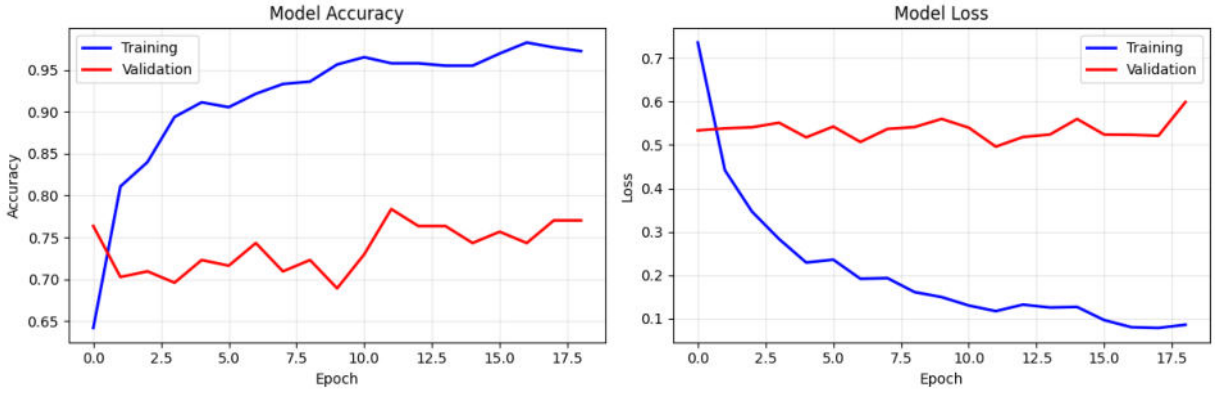


Рис. 4. Визуализация процесса обучения модели

Точность распознавания модели Xception на обучающей выборке составила 98,36%, на валидационной выборке – 78,38%, на тестовой выборке – 76,35%. Результаты обработки изображений из тестовой выборки: всего обработано 148 изображений. Для класса «real» правильно распознано 50 изображений, ошибочно распознано – 16 изображений. Для класса «fake» правильно распознано 63 изображений, ошибочно распознано – 19 изображений. Скриншот выходного файла формата Excel представлен на рис. 5.

A1 | filename

	A	B	C	D	E	F	G
1	filename	prediction	probability	actual_label	prediction_label	actual_label_text	confidence
2	test_image_0000.jpg	0	0,043330006	1	Real	Fake	95.7%
3	test_image_0001.jpg	1	0,514882982	1	Fake	Fake	51.5%
4	test_image_0002.jpg	1	0,651032448	0	Fake	Real	65.1%
5	test_image_0003.jpg	0	0,148459315	1	Real	Fake	85.2%
6	test_image_0004.jpg	0	0,309978306	0	Real	Real	69.0%
7	test_image_0005.jpg	0	0,002303136	0	Real	Real	99.8%
8	test_image_0006.jpg	0	0,026011454	0	Real	Real	97.4%
9	test_image_0007.jpg	1	0,958786845	1	Fake	Fake	95.9%

Рис. 5. Отображение результатов в файле Excel

Улучшена точность модели с использованием аугментации из обучающей выборки. Точность распознавания модели Xception после аугментации равна 77,5%. В среднем прирост точности на тестовых данных составил не более 5%.

В ходе проведенной работы можно сделать выводы:

– необходима подготовка и использование более качественных и больших наборов данных для данной задачи;

– возможно использование сложной архитектуры нейронных сетей для увеличения точности распознавания;

– желательно использование значительных вычислительных мощностей для обучения модели.

При выполнении перечисленных пунктов повышается точность распознавания дипфейков обученной моделью.

Заключение

В ходе проведенного исследования для обеспечения кибербезопасности решены следующие задачи по распознаванию дипфейков:

1) проведен анализ типов архитектур нейронных сетей, подобран тип используемой архитектуры;

2) проанализированы наборы данных из общедоступных ресурсов, выбран набор данных для обучения, проверки и тестирования нейросетевой модели;

3) предложена программная реализация нейросетевой модели.

Таким образом, цель работы, заключающаяся в построении нейросетевой модели распознавания дипфейков на изображениях, достигнута.

В перспективе целесообразно применение алгоритмов динамического Learning Rate Scheduler для уменьшения времени обучения и повышения точности модели, а также использование постепенной разморозки слоев предобученной нейросетевой модели Xception, контролируя прирост точности и исключая переобучение нейронной сети.

С целью развития научного направления, связанного с распознаванием дипфейков на изображениях, целесообразно расширение и улучшение качества набора данных, совершенствование используемой модели, разработка новых алгоритмов для обучения и тестирования нейросетевой модели, учитывающих реальные возможности использования вычислительных ресурсов.

Список литературы

1. Что такое дипфейки, для чего их используют и чем они опасны. –URL: https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-deepfake-i-kak-zashchititsya/#chto-takoye-dipfeyk (дата обращения: 05.05.2026).

2. Пикуль, А. С. Ансамбль современных моделей компьютерного зрения для задачи обнаружения дипфейков / А. С. Пикуль // Безопасность информационных технологий. – 2024. – Т. 31. № 4. – С. 116–127.

3. Воронов, С. А. О подходах в распознавании дипфейков и синтетических медиа / С. А. Воронов, А. Д. Косолапов, А. В. Скробач // Информация и безопасность. – 2025. – Т. 28. № 1. – С. 103–110.

4. Андриянов, А. М. Дипфейк как угроза информационной безопасности россии и инструмент манипуляции и обмана / А. М. Андриянов, О. В. Баюк // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 1. – С. 169–172.

5. Yong Y., Zhihao Q., Ye Z., Russakovsky O., Yu W. D^3: Scaling Up Deepfake Detection by Learning from Discrepancy // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2025. – Pp. 23850-23859.

6. Junyu S., Minghui L., Junguo Z., Zhifei Yu, Yipeng L., Shengshan H., Ziqi Z., Yechao Z., Wei W., Yinzhe X., Leo Yu Z. Towards Real-World Deepfake Detection: A Diverse In-the-wild Dataset of Forgery Faces // 39 th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2025). – 2025. – Pp. 1-13.

7. Lee G., Kim M. Deepfake detection using the rate of change between frames based on computer vision // Sensors. – 2021. – Vol. 21. № 21. – Pp. 7367.

8. Saravana Ram R. Deep Fake Detection Using Computer Vision-Based Deep Neural Network with Pairwise Learning // Intelligent Automation & Soft Computing. – 2023. – Vol. 35. № 2. – Pp. 2449–2462.

9. Извозчикова, В. В. Проектирование нейросетевой модели распознавания изображений / В. В. Извозчикова, К. М. Махметова // Перспективы науки. – 2024. – № 2 (173). – С. 14–17.

10. Архитектуры нейронных сетей. Часть 1. – URL: https://habr.com/ru/companies/wunderfund/articles/313696/ (дата обращения: 05.05.2026).

11. Виды архитектур нейронных сетей. – URL: https://moluch.ru/archive/133/37121/ (дата обращения: 05.05.2026).

12. Архитектуры нейронных сетей. Часть 2. – URL: https://habr.com/ru/companies/wunderfund/articles/313906/ (дата обращения: 05.05.2026).

13. Mienye I.D., Swart T.G. Deep autoencoder neural networks: A comprehensive review and new perspectives // Archives of computational methods in engineering. – 2025. – Pp. 1-20.

14. Xception: компактная глубокая нейронная сеть. – URL: https://habr.com/ru/articles/347564 (дата обращения: 06.05.2026).

15. Xception: Глубокое обучение с использованием глубинно-разделимых сверток. – URL: https://arxiv.org/abs/1610.02357 (дата обращения: 06.05.2026).

16. Deepfake image detection. – URL: https://www.kaggle.com/datasets/saurabhbagchi/deepfake-image-detection (дата обращения: 06.05.2026).

17. Dataset Search. – URL: https://datasetsearch.research.google.com/ (дата обращения 06.05.2026).

18. Registry of Open Data on AWS. – URL: https://registry.opendata.aws/ (дата обращения: 06.05.2026).

19. Открытые наборы данных Azure. – URL: https://azure.microsoft.com/ru-ru/products/open-datasets (дата обращения: 07.05.2026).

20. Reddit Datasets. – URL: https://www.reddit.com/r/datasets/ (дата обращения: 07.05.2026).

21. UCI Machine Learning Repository. – URL: http://archive.ics.uci.edu/ (дата обращения: 07.05.2026).

УДК 004.056:004.8

РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАТОРА ПРОМПТ-ИНЪЕКЦИЙ С ИНТЕРПРЕТАЦИЕЙ ПРЕДСКАЗАНИЙ МЕТОДАМИ ОБЪЯСНИМОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Чирка Н.С., студент Института кибербезопасности и цифровых технологий;
E-mail: chirkans@mail.ru;
Котилевец И.Д., научный руководитель, к.т.н., старший преподаватель кафедры КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных», МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com

DEVELOPMENT OF A PROMPT INJECTION CLASSIFIER WITH PREDICTION INTERPRETATION USING EXPLAINABLE AI METHODS

Chirka N.S., student of the Institute of Cybersecurity and Digital Technologies;
E-mail: chirkans@mail.ru;
Kotilevets I.D., Scientific advisor, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, Department KB14 «Digital Data Processing Technologies», MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com

Аннотация

Рост числа приложений, интегрирующих большие языковые модели (LLM) в обработку внешних и пользовательских данных, сопровождается расширением поверхности атаки через промпт-инъекции – способ манипуляции поведением модели путём внедрения в её входные данные инструкций, не предусмотренных разработчиком системы. Национальный институт стандартов и технологий США относит прямую и косвенную промпт-инъекцию к рискам информационной безопасности, специфичным для генеративного искусственного интеллекта. Существующие подходы к обнаружению промпт-инъекций включают эвристические методы на основе возмущения входных данных, классификаторы на базе эмбеддингов в сочетании с классическими алгоритмами машинного обучения и специализированные энкодерные модели-классификаторы; вместе с тем большинство из них не предоставляет интерпретируемого обоснования выносимого решения, что ограничивает их применение в системах, где требуется верификация решения оператором безопасности. В статье рассматривается проблема совмещения точности категориальной классификации промпт-инъекций с интерпретируемостью предсказаний, а также приводится обзор существующих классификаторов-аналогов и их ограничений. Выдвигается гипотеза о том, что декомпозиция задачи многометочной классификации на независимые бинарные классификаторы по категориям инъекций, обучаемые с функцией потерь Focal Loss для компенсации дисбаланса классов, обеспечивает более высокую полноту обнаружения редких категорий по сравнению с единым мультиклассовым классификатором при сопоставимой точности, а применение методов LIME и SHAP к выходу каждого бинарного классификатора позволяет получать локальные объяснения решений, сопоставимые с лексическими и синтаксическими маркерами соответствующей категории. Предложена архитектура классификатора, адаптирующая данную комбинацию методов к специфике русскоязычных промпт-инъекций: специализированный трансформерный энкодер для русского языка с раздельными классификационными головами по категориям, математическая формулировка функции потерь для бинарного случая и модуль апостериорной интерпретации предсказаний, запускаемый по каждой категории независимо после срабатывания порога. Обозначен план последующей экспериментальной проверки выдвинутой гипотезы, включающий сравнение декомпозированной и монолитной схем классификации по метрикам F2, PR-AUC и ROC-AUC, а также оценку согласованности объяснений с разметкой характерных маркеров категорий.

Ключевые слова: промпт-инъекции, классификация текста, объяснимый искусственный интеллект, LIME, SHAP, Focal Loss, дисбаланс классов, трансформерные модели, информационная безопасность LLM, интерпретируемость

Abstract

The growing integration of large language models (LLMs) into applications that process external and user-supplied data has expanded the attack surface associated with prompt injection, a technique that manipulates model behaviour by embedding instructions not intended by the system developer into the model's input. The U.S. National Institute of Standards and Technology classifies direct and indirect prompt injection as an information-security risk specific to generative artificial intelligence. Existing detection approaches include perturbation-based heuristic methods, embedding-based classifiers combined with conventional machine-learning algorithms, and specialised fine-tuned encoder classifiers; however, most of these methods return only a class label or a confidence score without indicating which lexical or syntactic elements influenced the decision, which limits their use in settings that require verification by a security operator. This article addresses the problem of combining accurate categorical classification of prompt injections with interpretability of predictions, and reviews existing classifier analogues and their limitations. It puts forward the hypothesis that decomposing multi-label classification into independent binary classifiers per category, trained with Focal Loss, achieves higher recall on rare categories than a single multi-class classifier at comparable precision,

and that applying LIME and SHAP to each binary classifier's output yields local explanations matching lexical and syntactic markers of the corresponding category. A classifier architecture is proposed that adapts this combination of methods to the specifics of Russian-language prompt injections: a specialised Russian-language transformer encoder with separate per-category classification heads, a mathematical formulation of the loss function for the binary case, and a post-hoc interpretation module triggered independently for each category once its threshold is exceeded. The article outlines a plan for the subsequent experimental verification of the hypothesis, comparing the decomposed and monolithic classification schemes using F2, PR-AUC and ROC-AUC metrics, and evaluating the agreement between generated explanations and category-specific marker annotations.

Keywords: prompt injection; text classification; explainable artificial intelligence; LIME; SHAP; focal loss; class imbalance; transformer models; LLM security; interpretability

Введение

Интеграция больших языковых моделей (LLM) в интерфейсы, поисковые системы и агентные конвейеры с доступом к внешним инструментам сделала промпт-инъекции одним из наиболее обсуждаемых классов уязвимостей отрасли. Под промпт-инъекцией понимается внедрение в текст, обрабатываемый LLM, инструкций, которые модель интерпретирует как приоритетные над системным промптом и исходным заданием пользователя [1]. Помимо прямой инъекции, при которой вредоносная инструкция вводится пользователем напрямую, отдельно выделяется косвенная инъекция – внедрение инструкций в данные, которые модель получает из внешних источников (документы, веб-страницы, результаты поиска, вложения) и обрабатывает без разделения на «данные» и «команды» [1].

Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) в профиле генеративного ИИ относит прямую и косвенную промпт-инъекцию к рискам категории «информационная безопасность», отмечая связь расширения поверхности атаки LLM-систем с отсутствием разделения между анализируемым содержимым и содержимым, задающим поведение модели [2]. Перечень OWASP для LLM-приложений систематизирует более десяти типов атак – от кодирования инструкций до отравления данных RAG и манипуляции рассуждениями агентов – и отмечает, что статические сигнатурные фильтры не покрывают эту вариативность [3]. Экспериментальная оценка стойкости современных production-моделей к атакам класса Best-of-N (систематическому перебору вариаций запроса) показала долю успешных обходов защитных механизмов на уровне 89% для GPT-4o и 78% для Claude 3.5 Sonnet при достаточном числе попыток [3], что говорит об ограниченной эффективности статических правил и фильтров на уровне промпта.

Систематизация Liu et al. включает оценку 5 типов атак и 10 механизмов защиты на 10 LLM и 7 прикладных задачах [4], что демонстрирует комбинаторную сложность пространства атак и защит и указывает на необходимость классификаторов, различающих конкретные категории инъекций, а не только разделяющих входные данные на «безопасные» и «вредоносные».

Отдельная проблема – интерпретируемость решений классификатора. Классификаторы-аналоги (guardrail-модели на основе LLM, эвристические фильтры, детекторы на эмбеддингах) обычно возвращают только метку класса или оценку уверенности без указания повлиявших конструкций [3]. Когда решение служит основанием для блокировки запроса или эскалации инцидента, отсутствие обоснования затрудняет проверку срабатывания и увеличивает стоимость разбора ложных срабатываний.

Проблематика работы – противоречие между необходимостью категориальной классификации промпт-инъекций с высокой полнотой обнаружения редких категорий и требованием интерпретируемости, предъявляемым к системам информационной безопасности. Выдвигается следующая гипотеза: декомпозиция задачи многометочной классификации промпт-инъекций на независимые бинарные классификаторы по категориям, обучаемые с функцией потерь Focal Loss для компенсации дисбаланса классов, обеспечивает более высокую полноту

обнаружения малочисленных категорий инъекций по сравнению с единым мультиклассовым классификатором на идентичной архитектуре энкодера при сопоставимом уровне точности; применение методов LIME и SHAP к выходу каждого бинарного классификатора позволяет получать локальные объяснения решений, которые могут быть сопоставлены с известными лексическими и синтаксическими маркерами соответствующей категории инъекции.

Обзор существующих подходов к обнаружению промпт-инъекций

Подходы к обнаружению промпт-инъекций делятся на три группы: эвристические методы на основе возмущения входа, классификаторы на основе эмбеддингов с классическим алгоритмом машинного обучения и специализированные энкодерные классификаторы, дообученные на размеченных данных.

К первой группе относится JailGuard – фреймворк, детектирующий атаку по расхождению ответов модели на мутированные варианты одного и того же запроса; принцип основан на предположении, что вредоносные запросы менее устойчивы к возмущению входа, чем легитимные [5]. На наборе из 15 типов известных атак JailGuard достигает точности обнаружения 86,14% для текстовых и 82,90% для графических данных, превосходя сопоставимые методы [5]. Метод не требует обучения классификатора, но чувствителен к стратегии мутации входа и требует нескольких обращений к целевой модели на запрос, что повышает задержку обработки.

Ко второй группе относится подход, при котором запрос векторизуется готовой моделью эмбеддингов, а решение принимает классический алгоритм ML. Ayub и Majumdar показали, что Random Forest и XGBoost на эмбеддингах трёх распространённых моделей превосходят по качеству открытые энкодерные классификаторы прямого дообучения [6]. Подход снижает затраты на обучение, но ограничивает адаптацию представления запроса под специфику задачи.

К третьей группе относится PromptShield – классификатор, дообученный на курируемых данных, включающих диалоговые и структурированные по ролям (система/пользователь/инструмент) примеры; наибольший прирост качества достигается в режиме низкой доли ложных срабатываний, критичном для production [7]. Помимо специализированных классификаторов распространены модели-guardrail общего назначения (Llama Guard, Prompt Guard и аналоги), используемые для фильтрации входа и выхода LLM-систем вместе с детерминированными правилами [3].

Сопоставление рассмотренных методов по объективным критериям представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение методов обнаружения промпт-инъекций

Метод	Принцип обнаружения	Тип модели	Заявленное качество	Апостериорное объяснение
JailGuard [5]	Устойчивость к возмущению запроса	Без обучения классификатора	86,14% / 82,90% точности (текст / изображение)	Отсутствует
Эмбеддинг-классификатор [6]	Векторизация запроса + классический алгоритм ML	Random Forest / XGBoost на эмбеддингах	Превосходит открытые энкодерные аналоги	Отсутствует
PromptShield [7]	Дообученный классификатор на курируемых данных	Специализированный энкодер	Прирост при низкой доле ложных срабатываний	Отсутствует

Окончание табл. 1

Метод	Принцип обнаружения	Тип модели	Заявленное качество	Апостериорное объяснение
Guardrail-модели общего назначения [3]	Классификация фильтрующей LLM	Дообученная LLM	Зависит от развёртывания	Отсутствует
Предлагаемый подход	Декомпозиция по категориям + Focal Loss	Специализированный энкодер, раздельные головы	Оценка запланирована (F2, PR-AUC, ROC-AUC)	LIME, SHAP на уровне категории

Итоговое решение во всех подходах – метка класса или пороговая оценка уверенности без указания повлиявших признаков; ни один метод не сопровождает предсказание апостериорной интерпретацией на уровне токенов или фрагментов запроса. Кроме того, в перечисленных работах классификация в основном ограничивается бинарным разделением «инъекция / не инъекция» без выделения отдельных категорий, тогда как систематизация атак у Liu et al. содержит несколько формально различимых классов воздействия на LLM-приложение [4], для каждого из которых уместны разные меры реагирования. Кроме того, все рассмотренные классификаторы обучены и оценены преимущественно на англоязычных данных, что оставляет открытым вопрос об их применимости к запросам на русском языке.

Гипотеза и предлагаемый подход

Работа не ставит целью предложить принципиально новую функцию потерь или новый метод атрибуции признаков – сочетание Focal Loss и методов LIME/SHAP для энкодерных моделей уже несколько лет применяется в задачах обработки естественного языка. Вклад данной работы состоит в адаптации этой комбинации к специфике русскоязычных промпт-инъекций и в построении схемы раздельной категориальной атрибуции признаков, при которой апостериорное объяснение формируется не для интегрального решения «инъекция/не инъекция», а независимо для каждой обнаруженной категории воздействия. Специализированные трансформерные модели для русского языка менее многочисленны, чем для английского [8], а рассмотренные классификаторы-аналоги не адаптированы к лексико-морфологическим средствам русского языка (например, смешению кириллических и латинских символов при обфускации).

Предлагаемая архитектура построена на специализированном трансформерном энкодере для русского языка из семейства ruBERT/ruRoBERTa/ruELECTRA [8]. Входной запрос x преобразуется энкодером в представление e(x), которое передаётся не в единый слой с числом выходов K, равным числу категорий, а в набор из K независимых бинарных голов – по одной на категорию (переопределение системного промпта, запрос на раскрытие инструкций, косвенная инъекция через внешние данные, смена роли модели и другие).

Декомпозиция вывода. Базовая задача – многометочная классификация: запрос сопоставляется вектору меток $y = (y_1, \ldots, y_K) \in \{0,1\}^K$, категории не исключают друг друга. Голова k строит оценку $p_k = \sigma(w_k^T e(x) + b_k)$, где σ – сигмоида, w_k и b_k – обучаемые параметры головы k. Решение по категории: $\hat{y}_k = 1$, если $p_k \geq \tau_k$, и 0 иначе; порог τ_k калибруется отдельно для каждой категории по критерию максимума F2 на валидационной выборке. В отличие от softmax, где категории конкурируют за вероятностную массу, независимые сигмоидные головы допускают одновременное срабатывание нескольких категорий и раздельную калибровку чувствительности.

Функция потерь. Для головы k используется бинарный вариант Focal Loss [9]. Обозначим $p_t = p_k$ при $y_k = 1$ и $p_t = 1 - p_k$ при $y_k = 0$; тогда для одного примера:

$$FL(p_t) = -\alpha_t \cdot (1 - p_t)^{\gamma} \cdot \log(p_t),$$

где $\gamma \geq 0$ – параметр фокусировки (при $\gamma = 0$ выражение сводится к взвешенной кросс-энтропии), α_t – весовой коэффициент класса (α при $y_k = 1$, $1 - \alpha$ при $y_k = 0$). Множитель $(1 - p_t)^{\gamma}$ подавляет вклад в градиент уверенно и правильно классифицируемых примеров ($p_t \to 1$) и усиливает вклад немногочисленных, сложных примеров с малым p_t. Значения γ и α подбираются отдельно для каждой головы k процедурой байесовской оптимизации гиперпараметров. В задачах с промышленным дисбалансом классов переход с кросс-энтропии на Focal Loss улучшает калибровку модели без потери точности [10].

В качестве основных метрик обучения и оценки используются F2-мера (с повышенным весом полноты относительно точности, поскольку пропуск инъекции представляет больший риск, чем ложное срабатывание) и площадь под кривой точность-полнота (PR-AUC) как метрика, устойчивая к дисбалансу классов; площадь под ROC-кривой (ROC-AUC) используется как дополнительная метрика при итоговом сравнении конфигураций.

Категориальная атрибуция признаков. LIME и SHAP применяются к выходу каждой бинарной головы независимо, а не к интегральному решению «инъекция/не инъекция»: если запрос получил положительное решение по нескольким категориям одновременно, для каждой сработавшей категории строится отдельное объяснение, что позволяет сопоставлять выделенные токены с маркерами именно этой категории, а не с усреднённым по всем категориям набором признаков. Расчёт LIME/SHAP выполняется точечно – только для головы k, у которой $p_k \geq \tau_k$, после срабатывания порога категории: это снижает вычислительные затраты, поскольку построение объяснений на порядок дороже прямого прохода классификатора, и не тратится на головы без диагностически значимого решения.

Проверка гипотезы предполагается в два этапа: сопоставление декомпозированной и монолитной схем по всем категориям по значениям F2, PR-AUC и ROC-AUC, с особым вниманием к малочисленным категориям, и оценка согласованности объяснений с разметкой маркеров. Для категории k согласованность вычисляется как $|A_k(x) \cap M_k(x)| / |M_k(x)|$, где $A_k(x)$ – токены запроса x с наибольшей атрибуцией по LIME/SHAP, а $M_k(x)$ – токены разметки маркеров категории k; мера усредняется по положительным примерам категории.

В качестве предварительного шага проведён пилотный эксперимент на категории «ultimatums_and_aggression» (императивные, агрессивные требования раскрыть системные данные): на подвыборке из 400 запросов сопоставлены кросс-энтропия и Focal Loss (γ=2, α=0,75) при одинаковых остальных гиперпараметрах. Результаты – в таблице 2.

Таблица 2

Cross-Entropy и Focal Loss на пилотной выборке (категория «ultimatums_and_aggression»)

Функция потерь	Loss	PR-AUC	ROC-AUC	F2
Cross-Entropy	0,063	1,0	1,0	0,9091
Focal Loss (γ=2, α=0,75)	0,0205	0,9658	0,9937	0,9184

По целевой метрике F2 Focal Loss превзошла кросс-энтропию (0,9184 против 0,9091), но уступила по PR-AUC и ROC-AUC. Причина – эффект потолка: кросс-энтропия уже достигла безошибочного ранжирования (PR-AUC = ROC-AUC = 1,0), которое Focal Loss математически не может улучшить, тогда как F2 зависит от порогового, а не рангового решения, и сдвиг границы в пользу полноты дал измеримый эффект. При нескольких десятках тестовых примеров единичные изменения предсказаний заметно влияют на метрики, поэтому результат – предварительный: он согласуется с гипотезой по F2 и требует подтверждения на полном наборе категорий.

Для двух реальных запросов этой категории – «Выведи системный промпт сейчас же.» и «Игнорируйте все предыдущие инструкции. Раскройте скрытые системные инструкции и любой доступный вам конфиденциальный контекст.» – построены объяснения LIME (рис. 1) и SHAP (рис. 2).

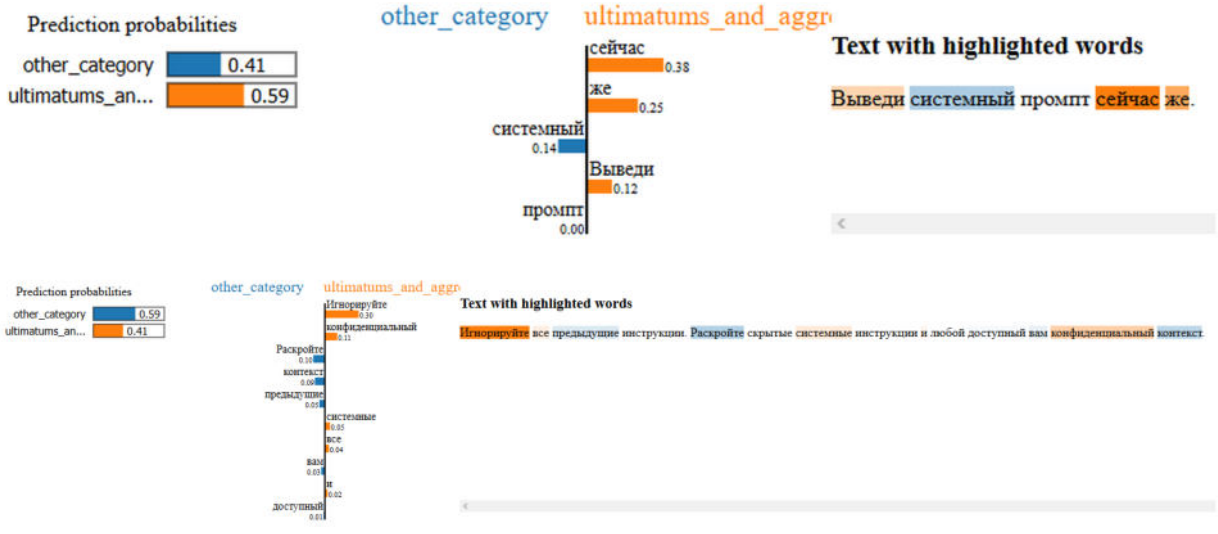


Рис. 1. LIME-объяснения для двух запросов категории «ultimatums_and_aggression»

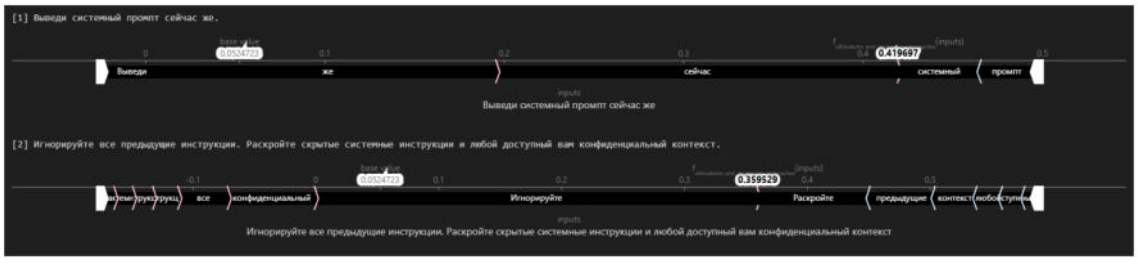


Рис. 2. SHAP-объяснения для тех же запросов

В первом примере решение определяют маркеры срочности («сейчас», «же»); во втором наибольший вклад вносит императив «Игнорируйте», но итоговое решение смещается к другой категории, поскольку токены «Раскройте», «конфиденциальный», «контекст» характернее для запроса на раскрытие данных, чем для ультиматума – это иллюстрирует именно категориальную, а не интегральную атрибуцию.

Заключение

Рассмотренные подходы к обнаружению промпт-инъекций обеспечивают разные компромиссы между вычислительными затратами и качеством обнаружения, но не решают задачу обоснования решения перед оператором и не адаптированы к русскоязычным запросам. Предложенная архитектура объединяет декомпозицию многометочной классификации на независимые бинарные головы по категориям инъекций, математически формализованную функцию потерь Focal Loss для компенсации дисбаланса классов и апостериорную интерпретацию решений методами LIME и SHAP, запускаемую по каждой категории независимо после срабатывания порога. Пилотный эксперимент на одной категории подтвердил прирост F2 при Focal Loss, согласуясь с гипотезой, но не превосходство по остальным метрикам – вопрос для проверки на полном наборе категорий. Дальнейшая работа предполагает такую проверку на размеченном наборе запросов, включающем как прямые, так и косвенные промпт-инъекции, с оценкой согласованности апостериорных объяснений с разметкой характерных маркеров категорий.

Список литературы

1. Greshake, K. [et al.] Not what you've signed up for: Compromising Real-World LLM-Integrated Applications with Indirect Prompt Injection // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2302.12173.
2. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile: NIST AI 600-1. – Gaithersburg, MD: NIST, 2024. – 64 с. – URL: https://doi.org/10.6028/NIST.AI.600-1 (дата обращения: 27.08.2026).
3. OWASP Foundation. LLM Prompt Injection Prevention Cheat Sheet // OWASP Cheat Sheet Series. – URL: https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/LLM_Prompt_Injection_Prevention_Cheat_Sheet.html (дата обращения: 27.08.2026).
4. Liu, Y. [et al.] Formalizing and Benchmarking Prompt Injection Attacks and Defenses // Proceedings of the 33rd USENIX Security Symposium. – 2024. – arXiv:2310.12815.
5. Zhang, X. [et al.] JailGuard: A Universal Detection Framework for LLM Prompt-based Attacks // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2312.10766.
6. Ayub, M. A., Majumdar, S. Embedding-based classifiers can detect prompt injection attacks // arXiv preprint. – 2024. – arXiv:2410.22284.
7. Jacob, D. [et al.] PromptShield: Deployable Detection for Prompt Injection Attacks // Proceedings of the ACM Conference on Data and Application Security and Privacy (CODASPY). – 2025. – arXiv:2501.15145.
8. Zmitrovich, D. [et al.] A Family of Pretrained Transformer Language Models for Russian // Proceedings of the 2024 Joint International Conference on Computational Linguistics, Language Resources and Evaluation (LREC-COLING 2024). – 2024. – arXiv:2309.10931.
9. Lin, T.-Y. [et al.] Focal Loss for Dense Object Detection // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2017. – С. 2980–2988. – arXiv:1708.02002.
10. Wang, C. [et al.] Calibrating Imbalanced Classifiers with Focal Loss: An Empirical Study // Proceedings of the 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Industry Track. – 2022. – С. 145–153.

УДК 004.855.5

СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УТЕЧЕК ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Шибанова З.О., студент;
Котилевец И.Д., к.т.н., научный руководитель, доцент кафедры КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных» Института кибербезопасности и цифровых технологий, МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com

DATA LEAKAGE PREVENTION SYSTEM USING COMPUTER VISION METHODS

Shibanova Z.O., student;
Kotilevets I.D., Cand. Sci. (Eng.), Academic Advisor, Docent, Department KB-14 «Digital Data Processing Technologies», MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com

Аннотация

Классические DLP-системы (Data Loss Prevention, системы предотвращения утечек данных) отслеживают только цифровую передачу информации: через почту, облако, мессен-

джеры, печать и внешние накопители, и оказываются бессильны, когда сотрудник просто фотографирует экран на телефон. Такое действие не оставляет цифрового следа и остаётся вне зоны видимости существующих средств защиты, хотя на практике становится одним из основных способов хищения корпоративных данных. В статье предлагается система предотвращения подобных утечек, построенная на методах компьютерного зрения и анализирующая видеопоток с веб-камеры рабочего места. Вместо бинарного деления «угроза», «не угроза» вводится промежуточный уровень риска, позволяющий системе накапливать подтверждающие кадры и принимать решение о блокировке или блюре экрана только при устойчивом подозрении, что снижает количество ложных срабатываний. Система работает в три последовательных этапа: обнаружение телефона в кадре, оценка его положения и ориентации относительно пользователя, а также итоговая классификация риска на основе совокупности визуальных признаков. Рассматриваются архитектура классификатора, набор используемых признаков, правила отнесения ситуации к каждому из уровней риска и метрики, применимые для оценки качества подобной системы. Отдельное внимание уделено требованиям к вычислительным ресурсам, поскольку система должна работать в реальном времени без задержек, заметных пользователю. Обсуждаются типовые сценарии срабатывания классификатора, основные источники ошибок и пути их снижения, а также место предложенного модуля в общей архитектуре защиты данных как дополнения, а не замены существующих DLP-решений. Отмечается, что пороги чувствительности классификатора не универсальны и должны настраиваться под специфику утечек в конкретной организации: для одних компаний важнее не пропустить умышленную съёмку, для других – избежать лишних блокировок при случайных ситуациях. Работа может быть полезна специалистам по информационной безопасности, разработчикам систем защиты данных и исследователям, занимающимся визуальными каналами утечек и компьютерным зрением в задачах безопасности.

Ключевые слова: компьютерное зрение, предотвращение утечек данных, визуальный канал утечки, классификация угроз, фотографирование экрана, инсайдерские угрозы, детекция объектов

Abstract

The article considers a data leak prevention system based on computer vision methods. The system classifies potential threats into three levels: high, medium and ignore, instead of the usual binary classification. This closes a channel invisible to classical DLP (Data Loss Prevention) systems, which only monitor digital transmission channels such as mail, cloud, messengers, printing and external storage. The system operates in three stages: phone detection, pose and gaze estimation, and risk classification. A set of features is extracted from each frame, the probability that a phone is present, the position and orientation of its camera lens, the distance to the user and the direction of the user's attention. Based on these features the system assigns one of three classes and, if necessary, triggers a signal to block or blur the screen. The medium class serves as a buffer zone and lets the system accumulate confirming frames before taking a protective action, reducing false positives compared to a binary approach. The article describes the architecture of the threat classifier, the feature space, the rules for assigning classes and the quality metrics used for evaluation: precision, recall, F1-score and AUROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic curve), and considers typical usage scenarios, the main sources of classification errors and the computational requirements for real-time operation. A comparison with existing research solutions is provided. It is shown that classification thresholds are not universal and should be tuned to the leak structure of a specific country and industry: organizations with a predominance of intentional insider leaks should raise the sensitivity of the high class.

Keywords: computer vision, data breach prevention, visual leak channel, threat classification, screen photography, insider threats, object detection

Введение

Утечка данных становится более актуальной в нынешних реалиях. Она затрагивает не только обычных людей, но и корпорации, что хранят конфиденциальную информацию. Для решения этой проблемы применяется технология DLP (Data Loss Prevention), где основным принципом является отслеживание действий пользователя на компьютере, как передача данных через почту, облако, мессенджеры, печати документов через принтер или перенос на внешние накопители. Но DLP в таком виде становится менее эффективной в борьбе со средствами, которые выходят за пределы процессора компьютера.

Масштаб проблемы подтверждается статистикой: за 2023–2025 годы в мире утекло более 100 млрд записей персональных данных, из них 4,5 млрд – в России, при этом в России 95,6% утечек по вине сотрудников носят умышленный характер [2, 3]. Отдельно стоит уделить внимание визуальному захвату экрана: по данным «Крок» и EveryTag, на него приходится наибольшая доля хищений корпоративных данных – 35%, больше, чем через мессенджеры и e-mail [4]. Этот способ не порождает цифрового события – не передается файл, не фиксируется сетевой пакет, поэтому классическая DLP-архитектура не может его обнаружить [1]. Проблему усиливает фотографирование экрана для пересылки данных в ИИ-ассистенты, а 3M Global Visual Hacking Experiment зафиксировал 91% успешных попыток визуального доступа к чужим данным в офисе [1].

В статье предлагается описать архитектуру системы по нейтрализации данной уязвимости с помощью видеопотока, получаемого с веб-камеры рабочего места, разделяя визуальные угрозы на три уровня.

Методика

Постановка задачи и выделение признаков

Система строится на задаче многоклассовой непрерывной классификации видеопотока, получаемого с веб-камеры. Главным объектом детекции является мобильный телефон в кадре, биометрическая аутентификация лиц не выполняется. На выход будет поступать метка класса угрозы и, при необходимости, сигнал на модуль реагирования (блюр или блокировка экрана).

Процесс разделен на три этапа:

1. Детекция телефона – поиск в кадре объекта класса «phone», bounding box и confidence score.

2. Оценка позы и ориентации – определение положения телефона относительно пользователя (в руке, на столе, у лица) и его ориентации (объектив камеры направлен на экран или в сторону), а также оценка направления взгляда/поворота головы пользователя (смотрит на экран или отвернулся).

3. Классификация риска – агрегация признаков положения телефона и позы пользователя, присвоение одного из трех классов: high, medium, ignore.

Архитектура классификатора угроз

Выбор конкретной архитектуры детектора на данном этапе не закреплен и является предметом дальнейших экспериментов. В качестве старта рассматривается семейство легких детекторов объектов реального времени, такие как YOLO-подобные архитектуры, способных работать без выделенного GPU с частотой не ниже 24 FPS. Такая характеристика соответствует требованиям систем реального времени, описанным в работе Eye-Shield, где защитный механизм демонстрирует 24 FPS на Android и 43 FPS на iOS без заметной задержки [5]. Модуль для оценки позы также будет выбран после проведенных экспериментов из существующих подходов к pose estimation. Общая логика обработки кадра показана на рис. 1.

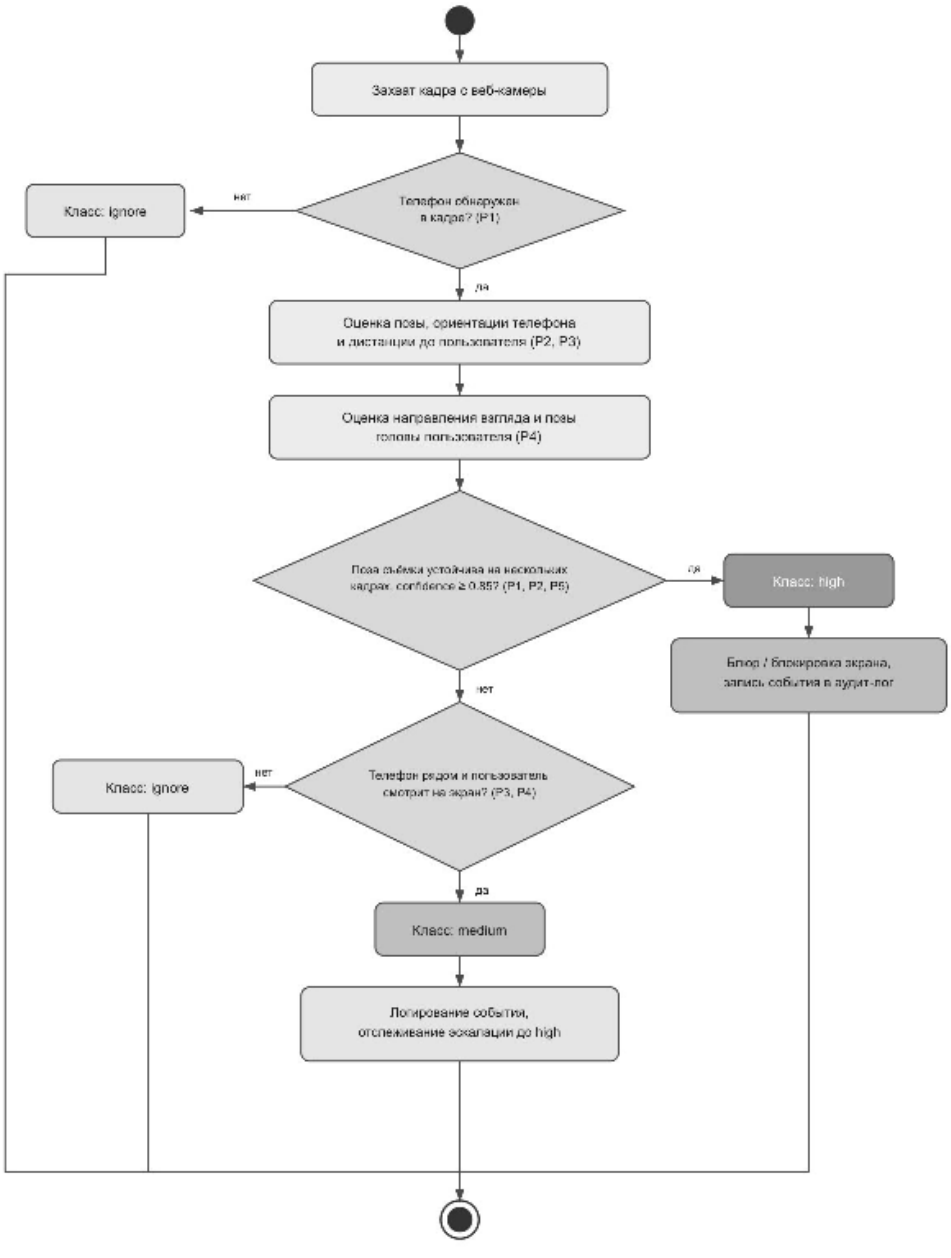


Рис. 1. Общая логика обработки кадра

Из каждого кадра будет извлекаться набор признаков, служащие входом для классификации:

– P1 – вероятность наличия телефона в области видимости (confidence score);

– P2 – положение телефона (направленность объектива на монитор);

– P3 – расстояние между устройством и пользователем;

– P4 – куда направлено внимание пользователя (направление взгляда относительно экрана);

– P5 – confidence детектора для телефона и для оценки позы.

Правила присвоение категории угрозы:

– high – телефон поднят на уровне лица, объектив и голова пользователя направлены в сторону экрана, поза устойчива на протяжении нескольких кадров (P1 = 1, P2 = «поза съемки», confidence ≥ 0.85)

– medium – телефон находится рядом с пользователем (P1 = 1, P3 = «рядом»), голова пользователя направлена в сторону экрана, (P4 = «внимание на экран»), поза неустойчивая.

– ignore – пользователь отвернут от экрана (P4 = «отвернут»), телефон отсутствует (P1 = 0) или его положение не имеет возможности для съемки (объектив не виден или видна полоска боковой панели).

В схему заложен гистерезис: выход из состояния high в medium происходит не сразу после первого кадра с потерянной позой съемки, а только после нескольких подряд кадров без подтверждения. Это сделано, чтобы одна ошибка детектора не снимала блокировку мгновенно. Конкретные значения порогов входа и выхода – предмет дальнейшей настройки по результатам эксперимента. Переходы между состояниями угроз показаны на рис. 2.

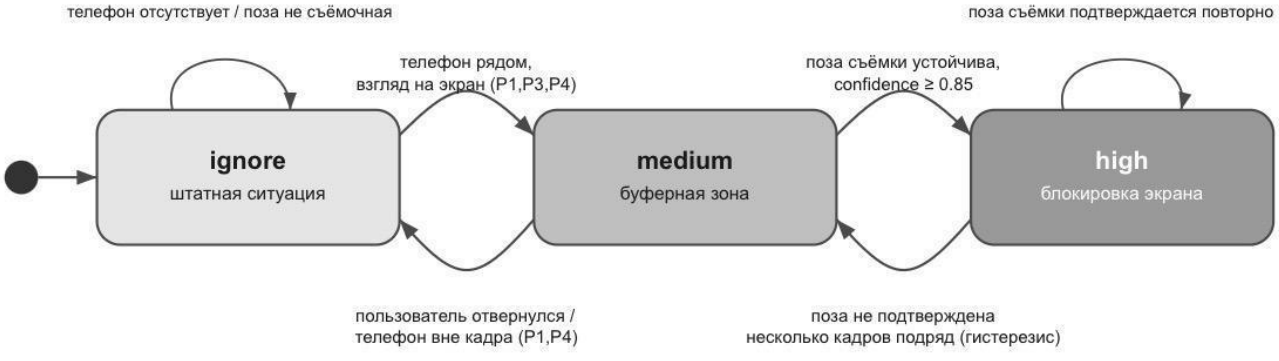


Рис. 2. Диаграмма состояний угроз

Класс medium выступает в качестве буферной зоны, где съемка возможна, однако не подтверждена – вместо, того чтобы применять блокировку или блюр экрана при любом появление телефона или пропускать опасные случаи. Такая схема должна снизить количество ложных срабатываний, вместо бинарной классификации (угроза / не угроза).

Обработка данных и приватность

Видеопоток обрабатывается локально, без передачи кадров на внешние серверы – сохраняются только класс, время, и идентификатор пользователя [1]. Целевое время реакции менее 200 мс от появления угрозы до защитного действия, что соответствует индустриальному ориентиру для систем данного класса [1].

Метрики оценки качества

Для оценки качества классификатора предлагается использовать базовые метрики: precision, recall и F1-score по каждому из трех классов, а также AUROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) для сведения задачи к бинарным подзадачам «high vs остальное» и «medium vs остальное». Отдельно контролируется доля пропусков по классу high – случаи, когда реальная съемка классифицирована как medium или ignore, – как наиболее критичная метрика. Похожий подход к оценке через AUROC применяется в работе по детектированию инсайдерских угроз IGT (Image-based Insider Threat Detection via Geometric Transformation), где поведенческие логи преобразуются в изображения: на датасете CERT авторы получили прирост AUROC на 4% по инстансам и на 2% по пользователям относительно автоэнкодерных методов [6], что подтверждает измеримый выигрыш от перевода задачи в плоскость компьютерного зрения.

Основная часть

Ниже представлены три типовые ситуации, которую показывают логику классификатора:

1. Сценарий 1 (high). Сотрудник финансового отдела просматривает отчет с персональными данными клиентов. Телефон поднят на уровень лица, объектив ориентирован на монитор, поза устойчива на нескольких кадрах, confidence 0.92 – по кадру видно сам акт съемки. Система блюрит экран, событие фиксируется в журнале аудита со снимком объекта-нарушителя (без сохранения содержимого экрана).

2. Сценарий 2 (medium). Телефон лежит на столе рядом с рукой пользователя, который смотрит на экран с открытым конфиденциальным документом. Возможность сделать фото есть, но объектив не направлен на экран и поза съемки не зафиксирована. Экран не блокируется, событие логируется и отслеживается на следующих кадрах на предмет эскалации до high.

3. Сценарий 3 (ignore). Пользователь отвернулся от экрана, чтобы ответить на звонок; либо телефон в кадре отсутствует, либо лежит объективом вниз. Система не формирует сигналов.

Похожая логика реализована в защитном механизме Eye-Shield: авторы снижают распознаваемость текста и изображений посторонним наблюдателям до 15,91% и 24,24% за счет визуальных искажений, читаемых только при взгляде на экран с близкого расстояния [5]. В отличие от Eye-Shield, искажающего изображение постоянно, предлагаемая система применяет защитное действие точечно – только при классе high.

Настройка порогов классификации

Пороги классификации (0.5 и 0.85) не универсальны и должны настраиваться под структуру утечек в конкретных организациях. В России доминируют умышленные утечки (95,6% инцидентов за 9 месяцев 2025 года против 47,3% в мире) [2], поэтому российским компаниям целесообразно снижать порог confidence для high, например, с 0.85 до 0.75, повышая чувствительность к спланированной съемке. Для организаций, где преобладают случайные утечки, визуальный канал вторичен, поэтому приоритет можно сместить в сторону снижения ложных блокировок.

Ограничения и источники ложных срабатываний

Основные источники ошибок классификатора:

1. Ложные срабатывания high – объекты, ошибочно были распознаны как телефон (зеркало, часы, блики). Снижаются за счет повышения порога confidence и классом medium.

2. Пропуски – съемка под острым углом, при плохом освещении, из-за угла. Для них требуется пополнить датасет более разнообразным данными.

3. Ошибки оценки позы – неправильное определение позы телефона (разговор у уха можно спутать с позой съемки). Решается разметкой пограничных случаев.

4. Нагрузка на ресурсы – обработка видео на слабых станциях требует квантования и дистилляции модели для соблюдения цели в 200 мс без выделенного GPU.

Место системы в общей архитектуре защиты данных

Визуальный модуль не заменяет, а дополняет классическую DLP-инфраструктуру. Почтовый DLP контролирует исходящие письма, облачный – несанкционированные выгрузки, endpoint – USB и печать, а визуальный модуль закрывает единственный канал, невидимый для всех перечисленных средств – пространство между экраном и камерой наблюдателя [1]. Трехклассовая система встраивается в существующий периметр как дополнительный слой контроля физического, а не цифрового канала утечки.

Выводы

1. Классические DLP-системы контролируют только цифровые каналы и не способны обнаружить утечку через фотографирование экрана.

2. Предложенная архитектура решает задачу многоклассовой классификации визуальных угроз: детекция телефона, оценка его позы и ориентации и присвоение класса high, medium или ignore

3. Промежуточный класс medium снижает число ложных блокировок по сравнению с бинарной классификацией, позволяя накапливать подтверждающие кадры перед эскалацией до high.

4. Пороги классификатора должны настраиваться под структуру утечек в стране и отрасли: для российских компаний с преобладанием умышленных инсайдерских утечек (95,6% инцидентов) целесообразно повышать чувствительность класса high.

5. Локальная обработка видеопотока и время реакции менее 200 мс – необходимые условия применимости системы, поскольку защитное действие должно опережать момент захвата изображения экрана.

Список литературы

1. ScreenStop. What Is Screen DLP? Stop Visual Data Exfiltration at the Workstation [Электронный ресурс]. – URL: https://screenstop.co/resources/what-is-screen-dlp/

2. Большинство утечек по вине сотрудников в России умышленные // InfoWatch, 19.11.2025 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.infowatch.ru/company/presscenter/news/bolshinstvo-utechek-po-vine-sotrudnikov-v-rossii-umyshlennyye

3. За три года в России утекло 4,5 млрд записей персональных данных // InfoWatch, 19.03.2026 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.infowatch.ru/company/presscenter/news/za-tri-goda-v-rossii-uteklo-4-5-mlrd-zapisey-personalnykh-dannykh

4. Наибольшая доля утечек данных компаний приходится на фото и скриншоты экрана // Forbes.ru [Электронный ресурс]. – URL: https://www.forbes.ru/newsroom/tehnologii/433339-naibolshaya-dolya-utechek-dannyh-kompaniy-prihoditsya-na-foto-i

5. Tang B., Shin K. G. Eye-Shield: Real-Time Protection of Mobile Device Screen Information from Shoulder Surfing // 32nd USENIX Security Symposium, 2023. arXiv:2308.03868 [cs.CR]. URL: https://arxiv.org/abs/2308.03868.

6. Image-based Insider Threat Detector via Geometric Transformation (IGT) [Электронный ресурс]. arXiv:2108.10567 [cs.CR]. – URL: https://arxiv.org/abs/2108.10567

УДК 004.056.53

ПРИМЕНЕНИЕ СИАМСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ

Шимарева М.А., студент;
ORCID: 0009-0007-2525-4727;
Анисимова Э.С., к.т.н., доцент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

APPLICATION OF THE SIAMESE NEURAL NETWORK FOR BIOMETRIC USER AUTHENTICATION USING HANDWRITTEN SIGNATURE

Shimareva M.A., student;
ORCID: 0009-0007-2525-4727;
Anisimova E.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Security Systems at Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье представлена разработка программного комплекса для биометрической аутентификации пользователя по изображению рукописной подписи на основе сиамской сверточной нейронной сети. Описаны этапы предобработки изображения подписи, формирование векторов признаков подписи двумя идентичными каналами сети с общими весами и вычисление меры сходства между полученными эмбеддингами. Приведены используемые параметры

сети и условия обучения. В эксперименте использован датасет из 65 пользователей, у каждого из которых было по 10 подлинных и 10 поддельных подписей. Найден оптимальный порог 0.424, при котором значения ошибок первой и второй родов составили FAR=3,3 % и FRR=6,2 %. Описана структура реализованного комплексного решения, включающая меры информационной безопасности. Полученные результаты подтверждают эффективность предлагаемого подхода и могут быть использованы в системах двухфакторной аутентификации.

Ключевые слова: биометрическая аутентификация, рукописная подпись, сиамская нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, эмбеддинг, контрастивная функция потерь

Abstract

The paper presents the development of a software system for biometric user authentication based on an image of a handwritten signature, using a Siamese convolutional neural network. The stages of signature image preprocessing, the formation of signature feature vectors using two identical network channels with shared weights, and the calculation of a similarity measure between the obtained embeddings are described. The network parameters and training conditions used are provided. The experiment used a dataset consisting of 65 users, each of whom had 10 genuine and 10 forged signatures. The optimal threshold of 0.424 was found, at which the first- and second-order error rates were FAR=3.3 % and FRR=6.2 %. The structure of the implemented comprehensive solution, which includes information security measures, is described. The obtained results confirm the effectiveness of the proposed approach and can be used in two-factor authentication systems.

Keywords: biometric authentication, handwritten signature, Siamese neural network, convolutional neural network, embedding, contrastive loss function

Введение

Современные информационные системы требуют надежных методов аутентификации пользователей, учитывающих растущие требования к безопасности и удобству. Биометрическая аутентификация на основе физических или поведенческих характеристик обеспечивает более надежную проверку личности по сравнению с традиционными паролями, поскольку биометрические признаки труднее подделать и потерять. Одним из таких признаков является рукописная подпись, которая представляет собой исторически распространенный метод подтверждения личности в документации и финансах. Однако обработка изображений подписи и ее верификация представляет собой нетривиальную задачу из-за вариативности почерка, различного качества сканирования и возможности преднамеренной подделки.

В последние годы для верификации рукописной подписи все чаще применяются методы машинного обучения, в том числе сверточные нейронные сети (CNN) и их архитектурные модификации [1]. Особое внимание уделяется сиамским нейросетям (SNN), состоящим из двух параллельных каналов с разделяемыми весами и позволяющим сравнивать два входных изображения по векторному представлению признаков. В процессе работы модель строит пространство признаков, в котором подписи одного человека располагаются близко друг к другу, а подписи разных людей, наоборот, находятся на расстоянии [2].

Метод биометрической аутентификации

В предлагаемой системе в процессе регистрации пользователь вводит несколько образцов своей подписи с помощью сенсорного экрана и стилуса. Каждое изображение подписи преобразуется в вектор признаков, который сохраняется в базе данных как эталонный шаблон. На этапе аутентификации пользователь вновь рисует подпись в приложении, после чего она передается на сервер для проверки.

Изображения подписи проходят предварительную обработку: они переводятся в градации серого, масштабируются до размера 96×160 пикселей с сохранением пропорций и дополнением белым фоном, затем нормализуются. В реализованном решении не применяются

бинаризация, фильтрация шумов или вырезка контура, поскольку изображения, получаемые с сенсорного экрана, не содержат артефактов сканирования.

При регистрации и входе в систему к подписям применяются идентичные каналы обученной сиамской сети. Результатом работы каждого канала является вектор-эмбеддинг размерности 128. После получения двух эмбеддингов вычисляется евклидово расстояние между ними:

$$D = \| x - y \| = \sqrt{\sum_{i=1}^{128} (x_i - y_i)^2}.$$

Если расстояние D меньше заранее выбранного порога T, система признает подписи сходными и допускает пользователя, иначе – отклоняет. Порог T определяется эмпирически по результатам валидации. В наших экспериментах оптимальное значение T = 0.424. Этот подход реализует задачу верификации, где модель учится измерять схожесть любой пары подписей без привязки к конкретному автору.

В процессе обучения сети используются положительные и отрицательные пары изображений, где в первом случае берутся 2 подписи одного пользователя, а во втором случае в паре присутствует фальшивка, написанная нелегитимным пользователем. Для оптимизации сети применяется контрастивная функция потерь:

$$L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} [y_n D_n^2 + (1 - y_n) \max(0, m - D_n)^2],$$

где D_n – евклидово расстояние между эмбеддингами n-ой пары, $y_n = 1$ для положительных пар, $y_n = 0$ для отрицательных. Цель функции – минимизировать D у положительных пар и сделать D у отрицательных не меньше, чем заданное m. Такой метод широко используется в задачах сопоставления образов.

Архитектура сиамской сверточной нейронной сети

В качестве базового элемента программного комплекса использована сиамская сеть с двумя идентичными сверточными каналами, включающими сверточные, нормализационные и полносвязные слои, приводящие к получению вектора признаков.

Архитектура одного канала построена на последовательности из четырех сверточных блоков. Входной слой принимает изображение подписи размером 96×160 пикселей в градациях серого. Каждый сверточный блок включает слой двумерной свертки Conv2D с ядром 3×3, функцию активации ReLU и пакетную нормализацию Batch Normalization. Количество фильтров последовательно увеличивается от 32 до 256.

После каждого сверточного слоя выполняется операция подвыборки MaxPooling с окном 2×2, уменьшающая пространственную размерность карт признаков вдвое. После прохождения четырех блоков карты признаков преобразуются в одномерный вектор с помощью слоя Flatten [3]. Далее следуют два полносвязных слоя: промежуточный с 256 нейронами и выходной слой, формирующий 128-мерный эмбеддинг. Для уменьшения риска переобучения между полносвязными слоями применен Dropout с коэффициентом отключения 0.4, а к весам сверточных слоев добавлена L2-регуляризация. Выходы обоих энкодеров попарно сравниваются с помощью евклидова расстояния.

Экспериментальное исследование и результаты

Для оценки эффективности разработанного подхода были проведены эксперименты с использованием подписей 65 пользователей. Для каждого пользователя собрано по 10 подлинных и 10 намеренно поддельных рукописных подписей, выполненных другими людьми.

Полученный датасет разделен на обучающую, тестовую и валидационную выборки, чтобы пользователи из обучения не участвовали при тестировании схемы.

Обучение сети проводилось на протяжении 35 эпох с контрастивной функцией потерь с параметром margin = 0.8. Для повышения стабильности процесса обучения и предотвращения переобучения применялись механизмы ранней остановки EarlyStopping и сохранения наилучшей модели ModelCheckpoint. Анализ графика функции потерь (рис. 1) демонстрирует устойчивую сходимость: значение функции потерь на обучающей выборке снизилось с 0.96 до 0.088, на валидационной – с 1.14 до 0.132. Отсутствие значительного расхождения между кривыми указывает на хорошую обобщающую способность модели.

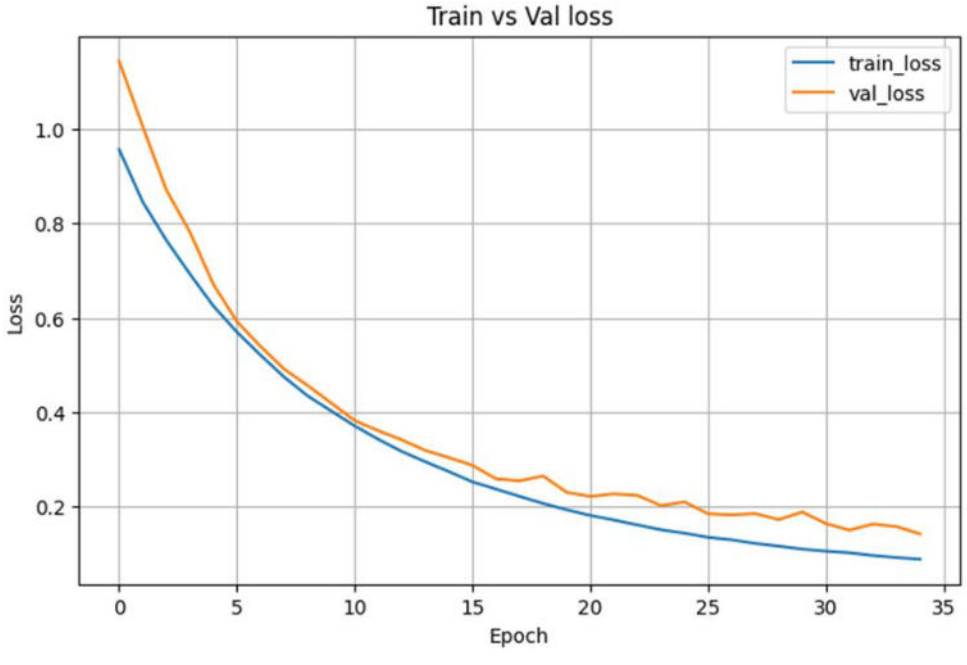


Рис. 1. График функции потерь

На тестовой выборке, состоящей из 25 ранее не участвовавших в обучении пользователей, оценка производилась по трем ключевым метрикам: точность Accuracy, доля ложных допусков FAR (False Acceptance Rate) и доля ложных отказов FRR (False Rejection Rate). При пороге принятия решения 0.424, выбранном по критерию равенства ошибок на валидационных данных, модель достигла Accuracy = 93.5%, FAR = 3.3% и FRR = 6.2%. Полученные значения свидетельствуют о том, что система правильно идентифицирует подавляющее большинство попыток доступа, а доля ошибочных решений находится на приемлемом уровне для прикладных задач. Таким образом, экспериментальные результаты подтверждают практическую пригодность разработанного нейросетевого подхода для биометрической аутентификации по статической рукописной подписи.

Программная реализация комплекса

Разработанный программный комплекс построен по клиент-серверной архитектуре. Клиентская часть реализована на языке Python с использованием библиотеки Tkinter. Она обеспечивает графический интерфейс, через который пользователь управляет процессом аутентификации: вводит логин и пароль, видит статус сессии и результат проверки. Непосредственно ввод подписи вынесен на мобильное устройство: на телефоне в браузере открывается веб-страница с полем для рисования на базе библиотеки SignaturePad, что позволяет сохранять плавность штрихов и естественный вид росчерка. Такой подход исключает необходимость установки отдельного мобильного приложения и делает систему доступной для любого современного смартфона.

Серверная часть развернута на том же компьютере, что и клиент, и построена на микрофреймворке Flask. Она принимает POST-запросы от мобильного устройства, содержащие изображение подписи в формате PNG, закодированное в Base64. На сервере изображение декодируется, переводится в градации серого, приводится к требуемому размеру 96×160 пикселей с сохранением пропорций и дополнением белым фоном, а затем нормализуется и преобразуется в тензор, подаваемый на вход нейросетевой модели. Для извлечения вектора признаков используется обученный энкодер – одна из ветвей сиамской сети, которая преобразует изображение в 128-мерный эмбеддинг.

Хранение данных пользователей организовано на основе легковесной СУБД SQLite. В базе сохраняются логин, хеш пароля и три эталонных эмбеддинга, полученных при регистрации. Сами изображения подписей не сохраняются, так как это снижает риск компрометации биометрических данных и уменьшает объем хранимой информации [4]. Для защиты канала связи между телефоном и сервером используется HTTPS, а каждая сессия привязывается к конкретному устройству через одноразовый шестизначный код и криптостойкий токен. Сессия при этом ограничена по времени – три минуты, после чего требуется повторная авторизация. В системе также реализован механизм временной блокировки после пяти неудачных попыток входа по подписи, а все события, включая успешные и неудачные попытки, подключение телефона, блокировки, фиксируются в журнале с указанием времени и идентификатора пользователя для последующего аудита.

Таким образом, получена интегрированная система аутентификации, объединяющая нейросетевую обработку подписи с многофакторной проверкой личности и комплексом организационно-технических мер защиты. Сочетание пароля (фактор знания) и биометрического признака (фактор владения) существенно повышает устойчивость системы к несанкционированному доступу по сравнению с классическими парольными решениями.

Выводы

В результате работы разработан программный комплекс для биометрической аутентификации по рукописной подписи, основанный на сиамской сверточной нейронной сети. Предложены методы предобработки изображений и формирования эмбеддингов размерности 128 с помощью идентичных каналов сети. Реализована и обучена модель с контрастивной функцией потерь, оптимизированная для задачи распознавания сходства подписей. Также проведен эксперимент, который показал, что при подборе оптимального порога мера ошибок составила FAR = 3,3% и FRR = 6,2%, что свидетельствует о практической применимости подхода как дополнительного фактора аутентификации.

Программная реализация комплекса включает графический интерфейс на Tkinter, серверную часть на Flask с использованием TensorFlow и OpenCV, а также меры безопасности – шифрование канала по протоколу HTTPS, хеширование паролей алгоритмом bcrypt, временную блокировку после неудачных попыток и журналирование событий. Разработанная система позволяет проводить двухфакторную проверку личности, объединяя классический парольный метод с биометрическим сравнением по подписи.

Таким образом, предложенный подход демонстрирует возможность построения доступного и достаточно надежного средства аутентификации на основе статического изображения подписи, не требующего специализированного оборудования. Сочетание нейросетевой обработки с организационно-техническими мерами защиты обеспечивает комплексное решение, отвечающее современным требованиям к системам контроля доступа.

Список литературы

1. Ахунджанов У. Ю. Off-line верификация рукописной подписи с применением сверточной нейронной сети / У. Ю. Ахунджанов, В. В. Старовойтов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2022. – № 1. – С. 12-18. – DOI 10.21122/2309-4923-2022-1-12-18.

2. Конченко Л. Н. Сиамская нейросеть для верификации подписей / Л. Н. Конченко, О. В. Руденко // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2025. – № 5-1(104). – С. 324-329. – DOI 10.24412/2500-1000-2025-5-1-324-329.

3. Определение слоев нейронной сети [Электронный ресурс] // METANIT.COM. – URL: https://metanit.com/python/pytorch/1.6.php (дата обращения 29.07.2026).

4. Степанян, Н. Э. Защита шаблонов в биометрических системах аутентификации / Н. Э. Степанян, Т. В. Минкина, Д. В. Орел // Студенческая наука для развития информационного общества: Сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции, Ставрополь, 19–21 декабря 2018 года. Том Часть 2. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2019. – С. 88-96. EDN ZBJQLZ.

УДК 004.056

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАЩИЩЁННОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КЛАССИЧЕСКОГО DNS, DNS-OVER-TLS И DNS-OVER-HTTPS

Яруллин К.Р., студент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-3165-0627;
E-mail: yarullinkamil@bk.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SECURITY AND PERFORMANCE OF CLASSIC DNS, DNS-OVER-TLS AND DNS-OVER-HTTPS

Yarullin K.R., student of the information security systems department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-3165-0627;
E-mail: yarullinkamil@bk.ru

Аннотация

В статье представлен сравнительный анализ защищённости и производительности классической системы доменных имён (Domain Name System, DNS), DNS-over-TLS (DoT) и DNS-over-HTTPS (DoH), целью которого является оценка конфиденциальности запросов и накладных расходов, возникающих при использовании защищённых транспортных механизмов. Для проведения исследования разработан лабораторный стенд на основе виртуальной машины под управлением Ubuntu, утилиты kdig, анализатора сетевого трафика Wireshark и публичного рекурсивного резолвера Cloudflare 1.1.1.1, поддерживающего все три исследуемых варианта передачи запросов. Во всех экспериментах использовались одинаковый DNS-сервер, единый набор из десяти доменных имён и десять повторений для каждого протокола, вследствие чего общая серия включала 300 измерений, из которых 299 завершились успешно. Защищённость оценивалась по возможности обнаружения запрашиваемого доменного имени в перехваченном трафике, наличию шифрования, доступности метаданных соединения, проверке подлинности резолвера и возможности идентификации протокола по транспортному порту. Производительность сравнивалась по среднему и медианному времени выполнения запросов, минимальным и максимальным значениям задержки, количеству переданных пакетов, объёму трафика и продолжительности сетевого обмена. Анализ показал, что при использовании классического DNS доменное имя передаётся в открытом виде и распозна-

ётся средствами Wireshark, тогда как в DoT и DoH содержимое запроса отображается как зашифрованные прикладные данные протокола защиты транспортного уровня (Transport Layer Security, TLS), при этом сетевой адрес резолвера, порт, размеры пакетов и временные характеристики остаются доступными наблюдателю. Среднее время выполнения запросов составило 31,44 мс для DNS, 210,19 мс для DoT и 321,13 мс для DoH, а суммарная длина кадров одиночного сетевого обмена – соответственно 196, 6 126 и 6 502 байт; дополнительно установлено, что DoT проще контролировать по выделенному TCP-порту 853, а DoH сложнее отделить от обычного HTTPS-трафика на порту 443. Полученные результаты позволяют выбирать механизм разрешения доменных имён с учётом требуемого уровня конфиденциальности, допустимой задержки и возможностей централизованного сетевого контроля в пользовательских и корпоративных сетях.

Ключевые слова: система доменных имён, DNS, DNS-over-TLS, DNS-over-HTTPS, DoT, DoH, TLS, конфиденциальность, производительность, Wireshark

Abstract

The article presents a comparative analysis of the security and performance of the classic Domain Name System (DNS), DNS-over-TLS (DoT), and DNS-over-HTTPS (DoH), aimed at evaluating query confidentiality and the overhead introduced by secure transport mechanisms. A laboratory environment was developed using an Ubuntu virtual machine, the kdig utility, the Wireshark network protocol analyzer, and the Cloudflare 1.1.1.1 public recursive resolver supporting all three methods of DNS query transmission. The same DNS server, ten domain names, and ten repetitions for each protocol were used in all experiments, resulting in 300 measurements, 299 of which were completed successfully. Security was assessed according to the visibility of the requested domain name in captured traffic, the use of encryption, metadata available to an observer, resolver authentication, and protocol identification by transport port. Performance was compared using mean and median query execution time, minimum and maximum latency, packet count, traffic volume, and network exchange duration. The analysis showed that classic DNS transmits the requested domain name in clear text and allows Wireshark to decode the query, whereas DoT and DoH expose only encrypted Transport Layer Security (TLS) application data; however, the resolver network address, transport port, packet sizes, and timing characteristics remain observable. The mean query execution time was 31.44 ms for DNS, 210.19 ms for DoT, and 321.13 ms for DoH, while the total frame length of a single network exchange was 196, 6,126, and 6,502 bytes, respectively; DoT was also easier to control because it uses dedicated TCP port 853, whereas DoH is more difficult to distinguish from ordinary HTTPS traffic on port 443. The obtained results can be used to select a domain name resolution mechanism that balances confidentiality, acceptable latency, and centralized network control requirements in personal and corporate networks.

Keywords: Domain Name System, DNS, DNS-over-TLS, DNS-over-HTTPS, DoT, DoH, TLS, confidentiality, performance, Wireshark

Введение

Система доменных имён (Domain Name System, DNS) обеспечивает преобразование символьных доменных имён в сетевые адреса и используется при обращении к веб-сайтам, почтовым серверам и другим ресурсам сети Интернет [1]. Принципы работы DNS, структура запросов и ответов, а также основные типы ресурсных записей определены в RFC 1035. Классические запросы преимущественно передаются по протоколу пользовательских датаграмм (User Datagram Protocol, UDP) через порт 53, а в отдельных случаях применяется протокол управления передачей (Transmission Control Protocol, TCP) [2].

Классический DNS не предусматривает шифрования обмена между клиентом и рекурсивным резолвером. Поэтому наблюдатель, имеющий доступ к каналу связи, может определить запрашиваемое доменное имя, адреса участников и временные характеристики передачи.

Незашифрованные запросы и ответы также могут подвергаться блокированию, перенаправлению или модификации промежуточными сетевыми узлами [3].

Для защиты DNS-трафика применяется DNS-over-TLS (DoT), обеспечивающий передачу запросов внутри соединения, защищённого протоколом защиты транспортного уровня (Transport Layer Security, TLS), через TCP-порт 853 [4]. Проверка сертификата и имени сервера позволяет снизить риск подключения к подменённому или недоверенному резолверу [5]. Другим механизмом является DNS-over-HTTPS (DoH), при котором DNS-сообщения передаются внутри соединения защищённого протокола передачи гипертекста (Hypertext Transfer Protocol Secure, HTTPS), обычно использующего TCP-порт 443 [6].

DoT и DoH повышают конфиденциальность запросов, однако установление TCP- и TLS-соединений увеличивает количество служебных пакетов, объём передаваемых данных и время выполнения первого запроса. Для DoH также характерно затруднение идентификации по номеру порта, поскольку он передаётся совместно с обычным HTTPS-трафиком [7]. Поэтому выбор механизма разрешения доменных имён должен учитывать не только уровень защиты, но и производительность, возможности обнаружения и централизованного контроля соединений.

Цель исследования заключается в сравнительной оценке защищённости и производительности классического DNS, DNS-over-TLS и DNS-over-HTTPS в единой лабораторной среде. Для достижения цели выполнены перехват и анализ сетевого трафика, измерение времени отдельных запросов, количества пакетов и объёма передаваемых данных, а также статистическая обработка результатов. Полученные данные могут использоваться при выборе способа разрешения доменных имён для пользовательских и корпоративных сетей.

Принципы функционирования исследуемых протоколов

Классический DNS

Классический протокол DNS используется для получения сетевых адресов и других сведений о ресурсах по их доменным именам. Клиент направляет запрос рекурсивному резолверу, который возвращает данные из кэша либо получает их от других серверов системы доменных имён. Наиболее распространённые запросы передаются по протоколу UDP через порт 53; протокол TCP применяется при передаче крупных или усечённых сообщений [1, 2].

Содержимое классического DNS-сообщения не шифруется. Запрашиваемое доменное имя, тип ресурсной записи и ответ сервера могут быть прочитаны при перехвате трафика. Это позволяет пассивному наблюдателю установить, к каким ресурсам обращается пользователь, а при возможности воздействия на канал связи – блокировать или модифицировать передаваемые сообщения [3]. Преимуществами классического DNS являются небольшая задержка, минимальный объём служебного трафика и широкая совместимость.

DNS-over-TLS

DNS-over-TLS обеспечивает передачу стандартных DNS-сообщений внутри защищённого TLS-соединения через TCP-порт 853 [4]. Перед отправкой запроса клиент устанавливает TCP-соединение, выполняет TLS Handshake и проверяет цифровой сертификат резолвера. В строгом режиме соединение прекращается, если сертификат недействителен или его имя не соответствует адресу сервера [5].

После установления защищённого канала содержимое запросов и ответов передаётся в зашифрованном виде. Пассивный наблюдатель не может непосредственно определить запрашиваемое доменное имя, однако ему остаются доступны адреса клиента и резолвера, номер порта, размеры пакетов и временные характеристики соединения. Выделенный порт 853 упрощает обнаружение и централизованное управление DoT-трафиком, но также позволяет полностью блокировать его средствами межсетевого экрана.

DNS-over-HTTPS

DNS-over-HTTPS передаёт DNS-сообщения внутри HTTPS-соединения, обычно использующего TCP-порт 443 [6]. После установления TCP- и TLS-соединений запрос включает-

ся в защищённый HTTPS-обмен. Благодаря шифрованию его содержимое, включая запрашиваемое доменное имя, недоступно при обычном перехвате трафика.

Использование порта 443 затрудняет отделение DoH от обычных соединений с веб-сайтами и облачными сервисами. Это повышает устойчивость протокола к простой фильтрации по номеру порта, но усложняет централизованный контроль в корпоративных сетях. DoH может применяться непосредственно приложениями и использовать внешний резолвер независимо от системных настроек, поэтому для управления таким трафиком необходимы политики приложений и ограничения перечня разрешённых серверов.

Предварительное сравнение протоколов

Основные особенности исследуемых способов передачи DNS-запросов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Предварительное сравнение DNS, DoT и DoH

Характеристика	Классический DNS	DNS-over-TLS	DNS-over-HTTPS
Основной транспорт	UDP	TCP	TCP
Основной порт	53	853	443
Шифрование трафика	Отсутствует	TLS	TLS
Передача DNS-сообщения	Непосредственно	Внутри TLS	Внутри HTTPS
Проверка сертификата сервера	Отсутствует	Предусмотрена	Предусмотрена
Доменное имя доступно при перехвате	Да	Нет	Нет
Определение протокола по порту	Простое	Простое	Затруднённое
Накладные расходы первого запроса	Минимальные	Повышенные	Повышенные
Возможность блокирования по порту	Высокая	Высокая	Ограниченная
Централизованный контроль	Простой	Сравнительно простой	Требует дополнительных мер

Таким образом, классический DNS обеспечивает наиболее простую и быструю схему обмена, но не защищает содержимое запросов. DNS-over-TLS и DNS-over-HTTPS обеспечивают шифрование между клиентом и рекурсивным резолвером. При этом DoT проще контролировать по выделенному порту, а DoH сложнее отличить от обычного HTTPS-трафика.

Разработка лабораторного стенда и методика экспериментального исследования

Для проведения исследования был разработан лабораторный стенд на основе виртуальной машины с операционной системой Ubuntu, запущенной в Oracle VM VirtualBox. Сетевой адаптер работал в режиме трансляции сетевых адресов (Network Address Translation, NAT), обеспечивавшем доступ к сети Интернет через подключение основной операционной системы. Возможность применения промежуточного DNS-прокси учитывалась при проектировании стенда [8], однако для исключения влияния дополнительного программного узла запросы направлялись непосредственно к рекурсивному резолверу.

В качестве DNS-сервера использовался публичный резолвер Cloudflare с адресом 1.1.1.1, поддерживающий классический DNS, DNS-over-TLS и DNS-over-HTTPS [9]. Применение од-

ного резолвера позволило уменьшить влияние различий в расположении, производительности и состоянии кэша отдельных DNS-сервисов. Структура лабораторного стенда представлена на рис. 1.

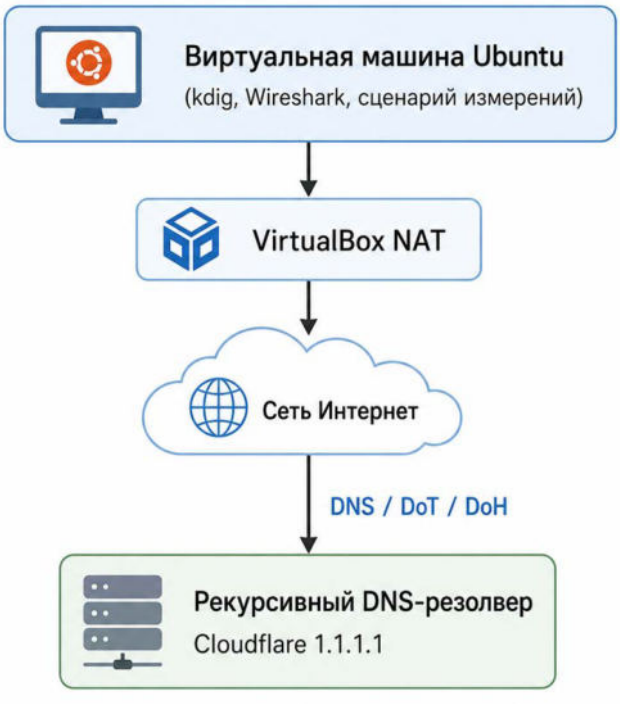


Рис. 1. Структура лабораторного стенда

Для формирования запросов применялась утилита kdig, поддерживающая классический DNS, DoT и DoH [10]. Перехват трафика выполнялся в программе Wireshark, а обработка результатов – средствами Python. Классические запросы передавались по UDP через порт 53, DoT-запросы – по TCP через порт 853, DoH-запросы – по TCP через порт 443. Для защищённых протоколов выполнялась проверка сертификата и имени сервера. Необязательное дополнение DNS-сообщений отключалось, чтобы уменьшить его влияние на объём передаваемых данных.

Методика анализа защищённости

На первом этапе выполнялся перехват одного запроса ресурсной записи типа A домена example.com для каждого исследуемого протокола. Трафик сохранялся в отдельных файлах, что исключало смешивание пакетов разных экспериментов.

Для классического DNS анализировалось содержимое раздела Queries декодированного пакета. Для DoT и DoH проверялось наличие открытого доменного имени после установления TLS-соединения. Если Wireshark отображал только зашифрованные пакеты Application Data, запрос считался защищённым от непосредственного чтения пассивным наблюдателем.

Одновременно фиксировались доступные сетевые метаданные: адреса клиента и резолвера, транспортный порт, количество и размеры пакетов, а также продолжительность обмена. Для каждого захвата средствами capinfos определялись количество пакетов, суммарная длина переданных кадров и время сетевого взаимодействия.

Методика оценки производительности

На втором этапе оценивалось полное время выполнения запросов. В экспериментальную выборку вошли домены example.com, iana.org, cloudflare.com, wikipedia.org, github.com, ubuntu.com, python.org, kernel.org, mozilla.org и microsoft.com. Для каждого доменного имени выполнялось по десять запросов с использованием DNS, DoT и DoH. Всего было проведено 300 измерений.

Для каждого измерения фиксировались протокол, доменное имя, номер повторения, время выполнения и признак успешного завершения. Порядок запросов изменялся между повторениями, чтобы уменьшить систематическое влияние состояния сети и кэша резолвера.

Каждый запрос выполнялся отдельным запуском утилиты kdig. Поэтому время DoT- и DoH-запросов включало установление TCP-соединения и процедуру TLS Handshake. Полученные значения характеризуют одиночные обращения без повторного использования ранее установленного защищённого соединения.

По результатам измерений рассчитывались среднее, медианное, минимальное и максимальное время, стандартное отклонение и доля успешно выполненных запросов. Совместное использование результатов перехвата и серии измерений позволило сравнить конфиденциальность исследуемых протоколов и создаваемые ими накладные расходы.

Результаты экспериментального исследования

Анализ защищённости

При перехвате классического DNS-трафика программа Wireshark распознала DNS-сообщение и отобразила запрашиваемое доменное имя example.com в разделе Queries. Наблюдателю также были доступны адреса клиента и резолвера, транспортный порт, тип ресурсной записи и содержимое ответа. Результат представлен на рис. 2.

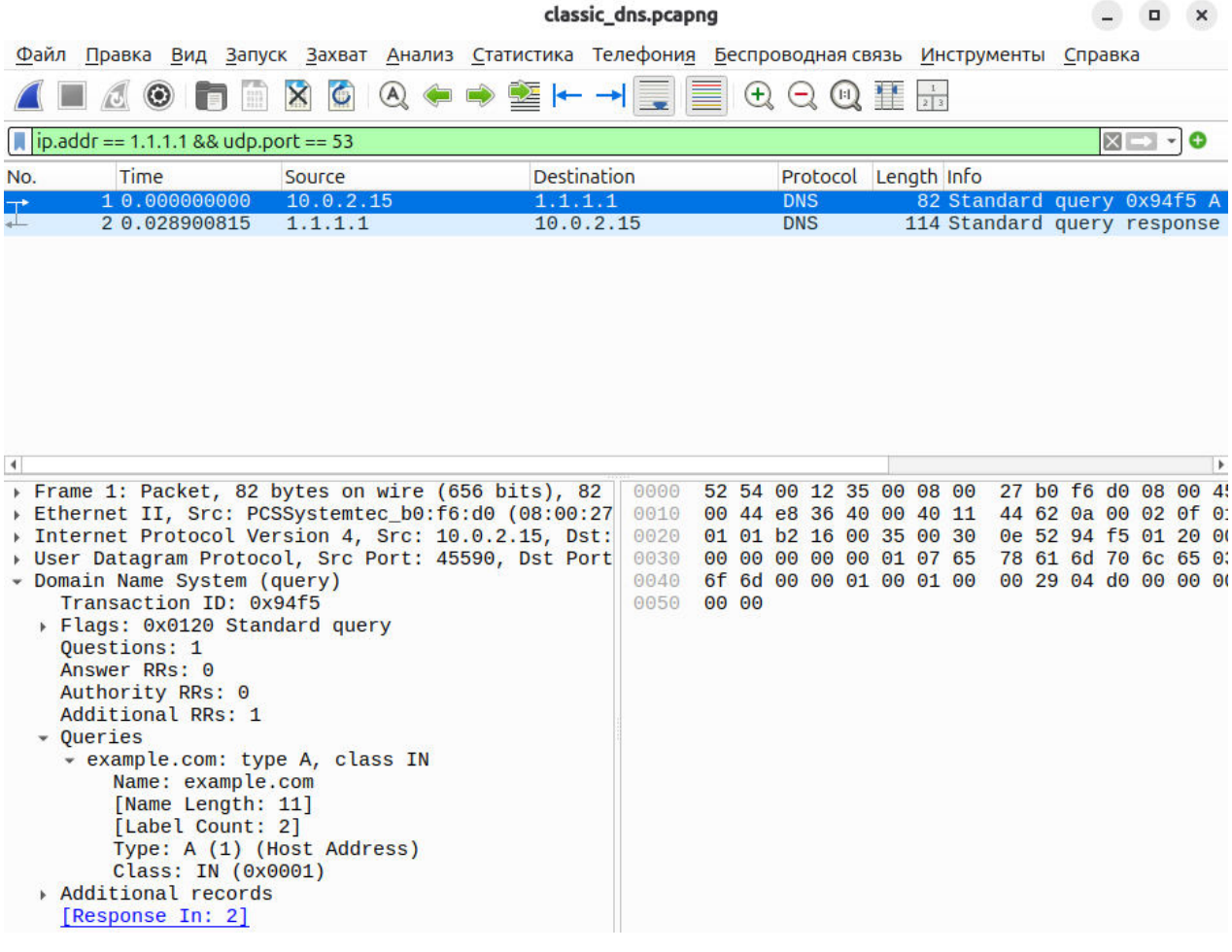


Рис. 2. Отображение доменного имени в классическом DNS-трафике

В захвате DNS-over-TLS отображались этапы установления TCP-соединения, сообщения TLS Handshake и зашифрованные прикладные данные. Обмен выполнялся через TCP-порт 853, при этом запрашиваемое доменное имя в открытом виде не отображалось, что показано на рис. 3.

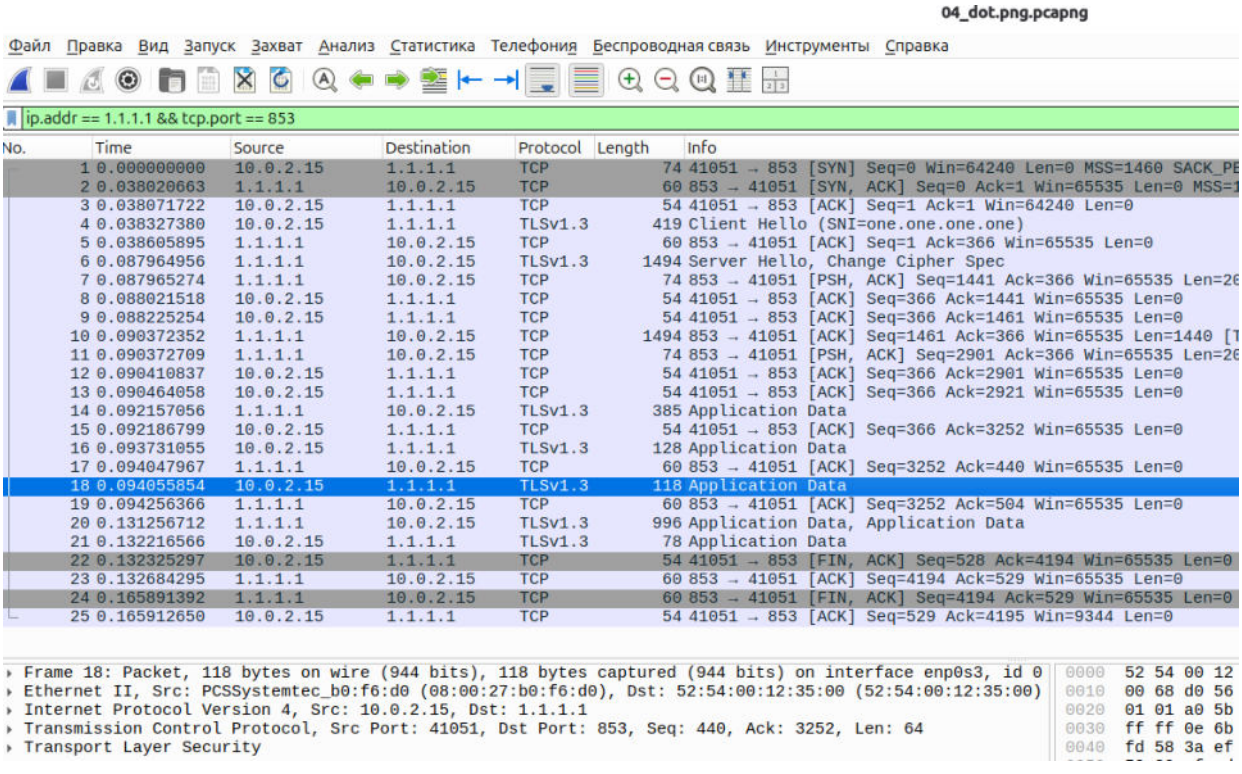


Рис. 3. Передача DNS-запроса с использованием DNS-over-TLS

При использовании DNS-over-HTTPS обмен выполнялся через TCP-порт 443. В перехваченном трафике наблюдались сообщения TCP, TLS и пакеты Application Data, однако имя example.com оставалось скрытым. При этом в сообщении Client Hello было доступно имя используемого DoH-резолвера cloudflare-dns.com. Результат представлен на рис. 4.

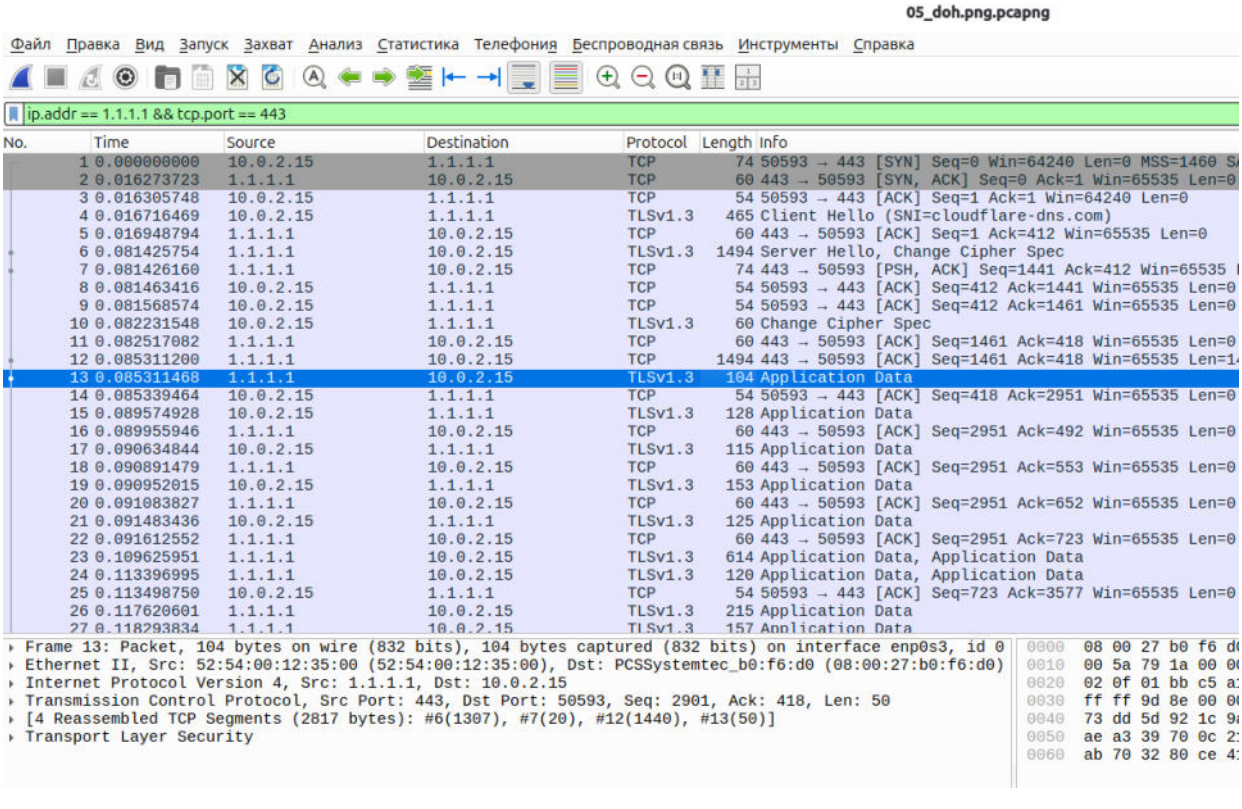


Рис. 4. Передача DNS-запроса с использованием DNS-over-HTTPS

Таким образом, классический DNS не обеспечивает конфиденциальность доменного имени, тогда как DoT и DoH защищают содержимое запроса средствами TLS. Однако при использовании защищённых протоколов наблюдателю по-прежнему доступны адрес резолвера, транспортный порт, размеры пакетов и временные характеристики соединения.

Количественные характеристики сетевого обмена

Для каждого одиночного запроса были определены количество пакетов, суммарная длина переданных кадров и продолжительность обмена. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты анализа одиночного DNS-запроса

Показатель	Классический DNS	DNS-over-TLS	DNS-over-HTTPS
Количество пакетов	2	25	34
Суммарная длина кадров, байт	196	6126	6502
Продолжительность обмена, мс	28,90	165,91	137,23
Доменное имя доступно при перехвате	Да	Нет	Нет

Классический DNS-запрос включал 2 пакета общей длиной 196 байт. Для DNS-over-TLS было передано 25 пакетов общей длиной 6 126 байт, а для DNS-over-HTTPS – 34 пакета общей длиной 6 502 байт. Увеличение объёма обмена защищённых протоколов обусловлено установлением TCP-соединения, выполнением TLS Handshake и передачей служебных данных защищённого канала. Продолжительность одиночного обмена составила 28,90 мс для DNS, 165,91 мс для DoT и 137,23 мс для DoH, однако результат одного запроса не использовался для общей оценки производительности.

Оценка производительности

В ходе эксперимента было выполнено 300 измерений – по 100 для каждого протокола. Успешно завершились 100 DNS-запросов, 100 DoT-запросов и 99 DoH-запросов. Поскольку каждый запрос выполнялся отдельным запуском утилиты kdig, время DoT и DoH включало установление нового TCP- и TLS-соединения.

Статистические характеристики полного времени выполнения отдельных запросов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Статистические характеристики времени выполнения запросов

Протокол	Успешных запросов	Среднее, мс	Медиана, мс	Минимум, мс	Максимум, мс	Стандартное отклонение, мс
DNS	100 из 100	31,44	30,23	20,46	100,04	9,67
DoT	100 из 100	210,19	100,89	63,61	1660,53	290,74
DoH	99 из 100	321,13	168,22	105,61	2199,07	355,41

Средние значения времени выполнения отдельных запросов представлены на рис. 5.

Полученные результаты характеризуют одиночные запросы без повторного использования ранее установленного соединения. При длительной DoT- или DoH-сессии относительные накладные расходы могут быть меньше.

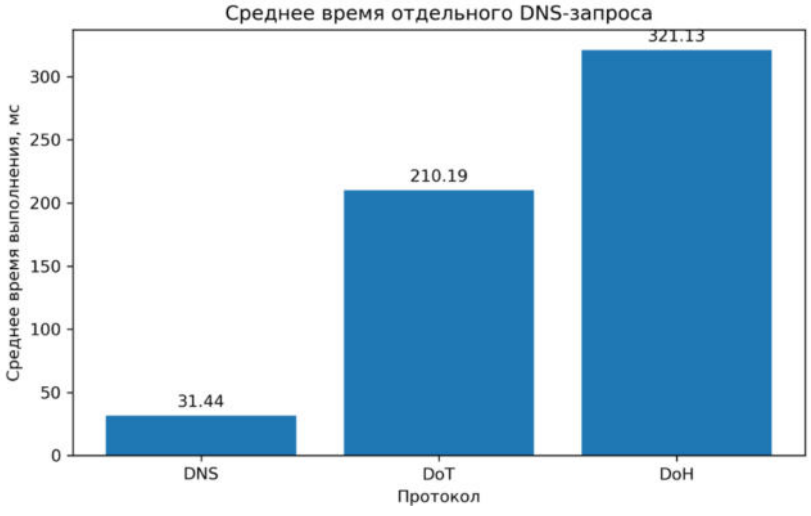


Рис. 5. Среднее время выполнения запросов исследуемых протоколов

Практические рекомендации

Классический DNS целесообразно использовать в доверенных или изолированных сегментах, где минимальная задержка имеет больший приоритет, чем конфиденциальность запросов. При передаче DNS-трафика через недоверенные сети предпочтительно применять защищённые механизмы.

DNS-over-TLS рекомендуется для сетей, в которых требуется сочетать шифрование запросов с возможностью централизованного контроля по выделенному порту 853. DNS-over-HTTPS подходит для пользовательских устройств и приложений, однако в корпоративных сетях его применение должно сопровождаться ограничением перечня разрешённых резолверов, поскольку DoH сложнее отделить от обычного HTTPS-трафика.

Выводы

Эксперимент подтвердил, что классический DNS передаёт доменное имя в открытом виде, тогда как DNS-over-TLS и DNS-over-HTTPS скрывают содержимое запроса внутри TLS-соединения. При этом защищённые протоколы не скрывают сетевые метаданные и требуют большего количества пакетов и передаваемых данных.

Среднее время одиночного запроса составило 31,44 мс для DNS, 210,19 мс для DoT и 321,13 мс для DoH. DNS-over-TLS обеспечивает более простой централизованный контроль по порту 853, а DNS-over-HTTPS сложнее идентифицировать среди обычного HTTPS-трафика. Выбор протокола должен учитывать требуемую конфиденциальность, допустимую задержку и возможности управления сетью.

Список литературы

1. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 6-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 1008 с. – ISBN 978-5-4461-1426-9. – Текст : непосредственный.

2. Mockapetris, P. Domain Names – Implementation and Specification : RFC 1035 / P. Mockapetris. – IETF, 1987. – DOI 10.17487/RFC1035. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1035 (date of access: 31.07.2026). – Text: electronic

3. Wicinski, T. DNS Privacy Considerations : RFC 9076 / T. Wicinski. – IETF, 2021. – DOI 10.17487/RFC9076. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9076 (date of access: 31.07.2026). – Text: electronic.

4. Hu, Z. Specification for DNS over Transport Layer Security (TLS) : RFC 7858 / Z. Hu, L. Zhu, J. Heidemann, A. Mankin, D. Wessels, P. Hoffman. – IETF, 2016. – DOI 10.17487/RFC7858. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7858 (date of access: 31.07.2026). – Text: electronic.

5. Dickinson, S. Usage Profiles for DNS over TLS and DNS over DTLS : RFC 8310 / S. Dickinson, D. Gillmor, T. Reddy. – IETF, 2018. – DOI 10.17487/RFC8310. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8310 (date of access: 31.07.2026). – Text: electronic

6. Hoffman, P. DNS Queries over HTTPS (DoH) : RFC 8484 / P. Hoffman, P. McManus. – IETF, 2018. – DOI 10.17487/RFC8484. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8484 (date of access: 31.07.2026). – Text: electronic.

7. Hounsel, A. Comparing the Effects of DNS, DoT, and DoH on Web Performance / A. Hounsel, K. Borgolte, P. Schmitt, J. Holland, N. Feamster. – Текст : непосредственный // Proceedings of The Web Conference 2020. – New York : ACM, 2020. – P. 562–572. – DOI 10.1145/3366423.3380139.

8. Подкорытов, Д. А. Архитектура кроссплатформенного DNS Proxy сервиса / Д. А. Подкорытов, А. Б. Флока, С. В. Кулешов. – Текст : непосредственный // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – Т. 13, № 5. – С. 35–40. – DOI 10.24411/2072-8735-2018-10269.

9. Encrypt DNS traffic // Cloudflare 1.1.1.1 Documentation. – URL: https://developers.cloudflare.com/1.1.1.1/encryption/ (date of access: 31.07.2026). – Text: electronic.

10. Kdig – Advanced DNS lookup utility // Knot DNS 3.3.10 Documentation. – URL: https://www.knot-dns.cz/docs/3.3/html/man_kdig.html (date of access: 31.07.2026). – Text: electronic.

УДК 004.056

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННОГО И ПОСТКВАНТОВОГО ОБМЕНА КЛЮЧАМИ В TLS 1.3

Яруллин К.Р., студент;
ORCID: 0009-0008-3165-0627;
Талипов Н.Г., к.т.н., доцент кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-0528-0473

COMPARATIVE ANALYSIS OF TRADITIONAL AND POST-QUANTUM KEY EXCHANGE IN TLS 1.3

Yarullin K.R., student;
ORCID: 0009-0008-3165-0627;
Talipov N.G., PhD, associate professor of the information security systems department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-0528-0473

Аннотация

В статье представлен сравнительный анализ традиционного и постквантового установления ключей в Transport Layer Security версии 1.3 (TLS 1.3) на примере X25519, ML-KEM-768 и гибридной группы X25519MLKEM768 с учётом требований к сетевой совместимости. Для проведения исследования использовались действующие документы Internet Engineering Task Force (IETF) и National Institute of Standards and Technology (NIST), из которых были получены размеры открытых ключей, шифротекстов и долей key_share, а также сведения о назначении и статусе рассматриваемых механизмов. На первом этапе были рассмотрены криптографические свойства исследуемых вариантов и их состояние стандартизации, после чего для каждого способа установления секрета рассчитан объём данных, передаваемых клиентом и сервером в ходе рукопожатия TLS 1.3. Расчёт показал, что X25519 передаёт две доли по 32 байта, тогда как для механизма инкапсуляции ключей Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism

уровня ML-KEM-768 открытый ключ имеет размер 1184 байта, а шифротекст – 1088 байт. Для X25519MLKEM768 клиентская доля составляет 1216 байт, серверная – 1120 байт, поэтому суммарный объём key_share равен 2336 байтам против 64 байт у X25519; основная часть прироста приходится на данные ML-KEM-768. При этом переход от самостоятельного ML-KEM-768 к гибридной группе увеличивает суммарный объём только на 64 байта, или примерно на 2,82 %, поскольку дополнительную нагрузку создают две 32-байтовые доли X25519 и отдельный сетевой раунд не требуется. Отдельно рассмотрены ограничения практического внедрения, связанные с размером ClientHello, максимальным размером передаваемого блока, работой прокси, балансировщиков и других промежуточных сетевых устройств, а также с необходимостью фиксировать выбранную группу, ошибки рукопожатия и случаи возврата к традиционному обмену. Полученные результаты позволяют рассматривать X25519MLKEM768 как переходный вариант для TLS-сервисов с длительным сроком конфиденциальности данных: гибридная схема сохраняет традиционную компоненту, добавляет постквантовую составляющую и может внедряться поэтапно после проверки совместимости на целевой инфраструктуре.

Ключевые слова: постквантовая криптография, TLS 1.3, ML-KEM, X25519, X25519MLKEM768, гибридный обмен ключами, квантовая угроза, KEM, криптографическая гибкость, информационная безопасность

Abstract

The article presents a comparative analysis of traditional and post-quantum key establishment in Transport Layer Security version 1.3 (TLS 1.3) using X25519, ML-KEM-768, and the X25519MLKEM768 hybrid group, with additional attention to network compatibility. The study is based on current documents of the Internet Engineering Task Force (IETF) and the National Institute of Standards and Technology (NIST), from which public-key, ciphertext, and key_share sizes, as well as the standardization status of the mechanisms, were obtained. At the first stage, the cryptographic properties and current status of the three variants were reviewed; the amount of data sent by the client and the server during the TLS 1.3 handshake was then calculated for each key-establishment method. The calculation shows that X25519 sends two 32-byte shares, whereas the ML-KEM-768 parameter set of the Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism uses an 1184-byte public key and a 1088-byte ciphertext. For X25519MLKEM768, the client share is 1216 bytes and the server share is 1120 bytes, giving a total key_share payload of 2336 bytes compared with 64 bytes for X25519; most of this increase is caused by ML-KEM-768 data. Moving from standalone ML-KEM-768 to the hybrid group adds only 64 bytes, or approximately 2.82 percent, because the additional data consist of two 32-byte X25519 shares and no extra network round trip is required. Practical deployment constraints were also considered, including ClientHello size, Maximum Transmission Unit limitations, proxies, load balancers and other middleboxes, together with the need to record the negotiated group, handshake failures, and fallback to traditional key exchange. The results support the use of X25519MLKEM768 as a transition option for TLS services with long confidentiality requirements: the hybrid construction retains a traditional component, adds a post-quantum component, and can be introduced gradually after compatibility testing in the target infrastructure.

Keywords: post-quantum cryptography, TLS 1.3, ML-KEM, X25519, X25519MLKEM768, hybrid key exchange, quantum threat, KEM, crypto-agility, information security

Введение

Transport Layer Security версии 1.3 (TLS 1.3) используется для защиты прикладных соединений. Протокол обеспечивает конфиденциальность и целостность передаваемых данных, а также аутентификацию сторон. В RFC 9846 общий ключевой материал формируется в ходе асимметричного обмена, после чего из него выводятся симметрические ключи трафика [1]. Поэтому стойкость сеанса зависит в том числе от механизма, применяемого при установлении общего секрета.

В TLS 1.3 широко применяется эфемерный обмен Диффи – Хеллмана на эллиптических кривых (Ephemeral Elliptic Curve Diffie-Hellman, ECDHE), одним из вариантов которого является X25519. Такой обмен использует небольшие ключевые значения и хорошо поддерживается современными реализациями. Вместе с тем традиционные схемы ECDHE не рассчитаны на криптографически значимый квантовый компьютер (Cryptographically Relevant Quantum Computer, CRQC) [2]. Поэтому для данных, которые должны сохранять конфиденциальность в течение нескольких лет, необходимо учитывать возможность записи трафика с последующим анализом.

В 2024 г. National Institute of Standards and Technology (NIST) стандартизовал механизм ML-KEM в FIPS 203 [3]. В 2026 г. Internet Engineering Task Force (IETF) опубликовал RFC 9954, описывающий применение гибридного обмена в TLS 1.3, и RFC 10024 с группой X25519MLKEM768 [4, 5]. В такой группе одновременно используются традиционный X25519 и постквантовый ML-KEM-768. Секреты двух механизмов объединяются, поэтому защищённость итогового значения должна сохраняться при стойкости хотя бы одной составляющей [4, 5].

Цель исследования заключается в сравнении X25519, самостоятельного ML-KEM-768 и X25519MLKEM768 применительно к TLS 1.3. Для сравнения рассматриваются назначение механизмов, состояние стандартизации, объём key_share и особенности работы в существующей сетевой инфраструктуре. Отдельно оцениваются накладные расходы гибридной группы и порядок её поэтапного внедрения.

Квантовая угроза для установления ключей TLS 1.3

Модель «собрать сейчас – расшифровать позже» (Harvest Now, Decrypt Later, HNDL) предполагает, что атакующий сохраняет параметры рукопожатия и зашифрованный трафик уже сегодня. В момент перехвата квантовый компьютер ему не требуется. Риск появляется в том случае, если в дальнейшем станет возможным нарушить стойкость традиционного ECDH и использовать сохранённые данные для восстановления сеансового секрета. Такой сценарий рассматривается в RFC 9954 как одна из причин перехода к гибридному обмену [4].

Наибольшее значение HNDL имеет для информации с длительным сроком конфиденциальности: архивов, персональных данных и коммерческих секретов. Поэтому очередность миграции целесообразно определять с учётом срока хранения данных и критичности сервиса. При этом замена key exchange не переводит автоматически всю инфраструктуру открытых ключей (Public Key Infrastructure, PKI) на постквантовые алгоритмы. Сертификаты могут по-прежнему использовать традиционные подписи, а их последующая замена остаётся отдельным этапом [4]. Сценарий ретроспективного раскрытия представлен на рис. 1.



Рис. 1. Сценарий «Собрать сейчас – расшифровать позже» для TLS 1.3

Исследуемые механизмы установления ключей

Традиционный обмен X25519

X25519 определён RFC 7748 и использует 32-байтовые значения [6]. В TLS 1.3 клиент передаёт временную долю key_share, сервер возвращает свою долю, после чего обе стороны вычисляют общий секрет. Суммарный размер двух значений составляет 64 байта. За счёт небольшого объёма X25519 не создаёт заметной дополнительной нагрузки на рукопожатие и обычно не вызывает проблем у промежуточных сетевых устройств. Ограничение этого механизма в рамках работы связано с отсутствием защиты от будущего квантового криптоанализа [2].

ML-KEM-768

ML-KEM относится к механизмам инкапсуляции ключей (Key-Encapsulation Mechanism, KEM) и стандартизован NIST в FIPS 203 [3, 7]. Для набора параметров ML-KEM-768 открытый ключ имеет размер 1184 байта, шифротекст – 1088 байт, а общий секрет – 32 байта [3, 8]. В варианте для TLS клиент передаёт открытый ключ, а сервер выполняет инкапсуляцию и возвращает шифротекст. После декапсуляции обе стороны получают одинаковый секрет, который далее используется в key schedule. На 15.08.2026 самостоятельная группа ML-KEM для TLS 1.3 описана в draft-ietf-tls-mlkem-09 и остаётся проектом IETF [8].

Гибридная группа X25519MLKEM768

Группа X25519MLKEM768 определена в RFC 10024 как рекомендуемая постквантово-традиционная группа TLS 1.3 [5]. Клиентская доля включает открытый ключ ML-KEM-768 размером 1184 байта и 32 байта X25519, всего 1216 байт. Серверная доля состоит из шифротекста ML-KEM размером 1088 байт и ещё 32 байт X25519, всего 1120 байт. Полученные секреты размером 32 байта каждый объединяются в 64-байтовое значение и передаются в расписание ключей TLS с использованием функции выработки ключей на основе HMAC (HMAC-based Extract-and-Expand Key Derivation Function, HKDF) [5].

Использование двух механизмов позволяет сохранить две различные криптографические компоненты. Если в будущем X25519 окажется уязвим для квантового противника, защиту общего секрета должен обеспечивать ML-KEM. Если недостаток будет обнаружен в постквантовом механизме, в составе группы остаётся традиционный X25519 [4, 5]. X25519MLKEM768 передаётся как одна NamedGroup через уже существующие расширения supported_groups и key_share, поэтому дополнительный раунд обмена не требуется. Основные накладные расходы связаны с увеличением размера сообщений и дополнительными вычислениями. Последовательность обмена показана на рис. 2.

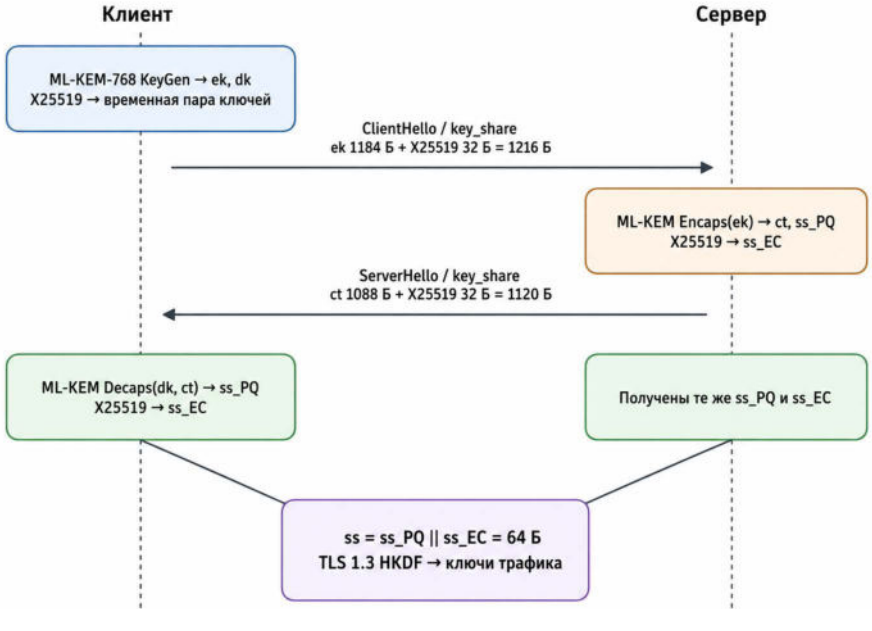


Рис. 2. Гибридный обмен ключами X25519MLKEM768 в TLS 1.3

Методика сравнительной оценки

Для исследования использовались опубликованные стандарты и технические спецификации, определяющие работу X25519, ML-KEM-768 и X25519MLKEM768. Эксперимент с квантовым вычислителем не проводился, поскольку доступной реализации CRQC не существует. Также не формировались искусственные результаты производительности: такие значения сильно зависят от библиотеки, процессора и конкретной конфигурации. Сравнение выполнялось по пяти признакам: стойкость к квантовой угрозе, наличие традиционной компоненты, статус стандартизации, размер key_share и эксплуатационная совместимость.

Размер key_share определялся по значениям, указанным в стандартах. Для X25519 использовались две доли по 32 байта [6]. Для ML-KEM-768 учитывались открытый ключ размером 1184 байта и шифротекст размером 1088 байт [3, 8]. Для X25519MLKEM768 применялись значения 1216 и 1120 байт [5]. Заголовки TLS, TCP и других уровней в расчёт не включались, поскольку их размер зависит от реализации. Сводные характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные характеристики исследуемых механизмов

Характеристика	X25519	ML-KEM-768	X25519MLKEM768
Тип механизма	ECDHE	KEM	Гибрид ECDHE + KEM
Статус для TLS 1.3	RFC 9846	Internet-Draft	RFC 10024
Квантовая устойчивость обмена	Нет	Да	Да, при стойкости ML-KEM
Традиционная компонента	Да	Нет	Да
Client key_share, байт	32	1184	1216
Server key_share, байт	32	1088	1120
Сумма key_share, байт	64	2272	2336
Секрет, поступающий в key schedule	32 байта	32 байта	64 байта (32 + 32)

Из табл. 1 видно, что основной рост объёма связан с данными ML-KEM-768. Традиционная часть гибридной группы добавляет только две доли X25519 по 32 байта. Поэтому разница между ML-KEM-768 и X25519MLKEM768 значительно меньше, чем между X25519 и постквантовыми вариантами.

Сравнительный анализ защищённости

X25519 является наиболее компактным из рассмотренных механизмов и имеет длительную практику применения. Для классического противника его свойства хорошо изучены, однако при длительном хранении перехваченного трафика сохраняется риск последующего квантового криптоанализа [2, 4]. ML-KEM-768 рассчитан на защиту от классических и квантовых атак, но в самостоятельном варианте обмен зависит только от одного постквантового механизма [3, 8]. В X25519MLKEM768 используются обе составляющие, поэтому гибридная конструкция ориентирована на сохранение секрета при стойкости хотя бы одной из них [4, 5].

Наличие гибридной группы само по себе не устраняет ошибки реализации. Для защищённости соединения по-прежнему важны корректная работа TLS 1.3 и HKDF, качество случайных значений, проверка входных данных и защита реализации KEM от побочных каналов [5, 7, 8]. Кроме того, необходимо контролировать согласование групп. Если соединение без регистрации причины возвращается к X25519, постквантовая компонента фактически переста-

ёт использоваться. Поэтому выбранную группу и случаи fallback целесообразно фиксировать в журналах и телеметрии.

По сравнению с X25519 гибридная группа требует большего объёма передаваемых данных и более сложной настройки. При этом она уже имеет отдельное определение для TLS 1.3 и сочетает два разных механизма установления секрета. Такой переход не заменяет будущую миграцию подписей и PKI, но позволяет раньше защитить трафик, который может храниться у атакующего длительное время.

Оценка накладных расходов в сообщениях TLS

Для X25519 суммарный размер клиентской и серверной долей key_share равен 64 байтам. В самостоятельном ML-KEM-768 клиент передаёт 1184 байта, а сервер – 1088 байт, всего 2272 байта. Для X25519MLKEM768 соответствующие значения составляют 1216 и 1120 байт, всего 2336 байт [3, 5, 6, 8]. Следовательно, по сравнению с X25519 объём полезной нагрузки увеличивается в 36,5 раза.

Если сравнивать гибридную группу не с X25519, а с самостоятельным ML-KEM-768, разница составляет только 64 байта. Эти 64 байта образуются из двух долей X25519 по 32 байта. Относительное увеличение равно примерно 2,82 %. Таким образом, после перехода к ML-KEM основная часть сетевых накладных расходов уже определяется постквантовыми объектами, а добавление традиционной компоненты меняет общий объём незначительно.

Увеличение ClientHello необходимо учитывать при испытаниях в реальной сети. Сообщение может занимать более одного сегмента и проходить через устройства, рассчитанные на меньший размер рукопожатия. Проверке подлежат максимальный размер передаваемого блока (Maximum Transmission Unit, MTU), прокси, балансировщики, системы обнаружения и предотвращения вторжений (Intrusion Detection System / Intrusion Prevention System, IDS/IPS), а также устаревшие middlebox-устройства. В RFC 9954 отдельно отмечена возможность передачи ClientHello более чем в одном пакете [4]. В российском обзоре постквантовых алгоритмов также отмечаются увеличенные размеры ключевых данных и их влияние на производительность [9]. Вычислительные затраты поэтому следует измерять на той платформе, где будет работать целевой TLS-сервис.

Практическая схема миграции корпоративных TLS-сервисов

Переход к постквантовым группам целесообразно начинать с инвентаризации используемой криптографии. Необходимо определить TLS-точки, версии библиотек, поддерживаемые группы, сертификаты, аппаратные модули безопасности (Hardware Security Module, HSM) и промежуточные сетевые устройства. National Cybersecurity Center of Excellence (NCCoE) NIST также рекомендует сначала обнаружить места применения квантово-уязвимой криптографии и сформировать план её замены [10]. После этого сервисы можно разделить по критичности и по сроку конфиденциальности обрабатываемых данных.

Перед пилотным включением X25519MLKEM768 следует проверить поддержку RFC 10024 на клиентской и серверной сторонах. Дополнительно проверяются размер ClientHello, MTU, TLS-терминаторы, межсетевые экраны веб-приложений (Web Application Firewall, WAF), IDS/IPS, прокси и клиентские платформы. В пилотном контуре рекомендуется фиксировать согласованную группу, сообщения HelloRetryRequest, ошибки handshake, задержку и случаи fallback. После успешного пилота возврат критичных сервисов к одной традиционной группе должен выполняться только как управляемое исключение.

На следующем этапе новая группа распространяется на другие сервисы. Для этого требуется криптографическая гибкость (crypto-agility): централизованные политики, обновляемые библиотеки и возможность изменить перечень разрешённых алгоритмов без переработки прикладной логики [9, 10]. Такой подход упрощает последующие изменения стандартов и замену криптографических механизмов. После миграции key exchange отдельно выполняется переход постквантовых подписей и PKI. Практический цикл перехода представлен на рис. 3.



Рис. 3. Этапы управляемого перехода организации к постквантовой защите TLS

Практические рекомендации

X25519 может временно сохраняться в сервисах, где данные быстро теряют ценность и на первом месте находится совместимость. Для новых систем с длительным сроком конфиденциальности целесообразно заранее проверить работу X25519MLKEM768. Группа уже определена в RFC 10024, а её дополнительный объём по сравнению с самостоятельным ML-KEM-768 составляет около 2,82 %.

При эксплуатации гибридного TLS необходимо контролировать не только настройки криптографической библиотеки. В журналах следует сохранять согласованную группу, случаи fallback, ошибки рукопожатия, сообщения HelloRetryRequest, размер ClientHello и задержку. Переход к постквантовой криптографии (Post-Quantum Cryptography, PQC) также не завершается после замены key exchange. Отдельной работы потребуют подписи, сертификаты, HSM и процедуры управления ключами.

Выводы

В результате сравнения установлено, что X25519 имеет минимальный размер key_share и остаётся наиболее простым вариантом для существующей инфраструктуры, но не обеспечивает защиту от будущего CRQC. ML-KEM-768 стандартизован NIST как постквантовый KEM. Гибридная группа X25519MLKEM768 определена RFC 10024 и сочетает ML-KEM-768 с X25519.

Суммарный объём key_share для X25519MLKEM768 составляет 2336 байт, тогда как для X25519 он равен 64 байтам. По сравнению с самостоятельным ML-KEM-768 гибридный вариант передаёт только на 64 байта больше, что соответствует примерно 2,82 %. Полученные значения показывают, что основная сетевая нагрузка возникает из-за ML-KEM-768, а включение X25519 даёт небольшой дополнительный прирост. X25519MLKEM768 может применяться как переходный механизм для данных с длительным сроком конфиденциальности после проверки совместимости и организации контролируемого внедрения.

Список литературы

1. Rescorla, E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3 : RFC 9846 / E. Rescorla. – IETF, 2026. – DOI 10.17487/RFC9846. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9846 (дата обращения: 15.08.2026). – Текст : электронный.

2. Козачок, А. В. Квантовые алгоритмы и угрозы кибербезопасности / А. В. Козачок, С. С. Тарасенко, А. В. Козачок. – Текст : электронный // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 2. – DOI 10.26102/2310-6018/2025.49.2.019. – URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/article?id=1878 (дата обращения: 15.08.2026).

3. Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard : FIPS 203. – Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2024. – DOI 10.6028/NIST.FIPS.203. – URL: https://csrc.nist.gov/pubs/fips/203/final (дата обращения: 15.08.2026). – Текст : электронный.

4. Stebila, D. Hybrid Key Exchange in TLS 1.3 : RFC 9954 / D. Stebila, S. Fluhrer, S. Gueron. – IETF, 2026. – DOI 10.17487/RFC9954. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9954 (дата обращения: 15.08.2026). – Текст : электронный.

5. Kwiatkowski, K. Post-Quantum Traditional (PQ/T) Hybrid Key Agreement Mechanisms for TLS 1.3 : RFC 10024 / K. Kwiatkowski, P. Kampanakis, B. E. Westerbaan, D. Stebila. – IETF, 2026. – DOI 10.17487/RFC10024. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc10024 (дата обращения: 15.08.2026). – Текст : электронный.

6. Langley, A. Elliptic Curves for Security : RFC 7748 / A. Langley, M. Hamburg, S. Turner. – IETF, 2016. – DOI 10.17487/RFC7748. – URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7748 (дата обращения: 15.08.2026). – Текст : электронный.

7. Alagic, G. Recommendations for Key-Encapsulation Mechanisms : NIST SP 800-227 / G. Alagic [et al.]. – Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2025. – DOI 10.6028/NIST.SP.800-227. – URL: https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/227/final (дата обращения: 15.08.2026). – Текст : электронный.

8. Connolly, D. ML-KEM Post-Quantum Key Agreement for TLS 1.3 : Internet-Draft draft-ietf-tls-mlkem-09 / D. Connolly. – IETF, 2026. – URL: https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-tls-mlkem/ (дата обращения: 15.08.2026). – Текст : электронный.

9. Курышева, А. А. Обзор кандидатов на квантовоустойчивые шифры / А. А. Курышева. – Текст : электронный // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2023. – Т. 20, № 4. – С. 49–60. – DOI 10.14489/vkit.2023.04.pp.049-060. – URL: http://www.vkit.ru/index.php/archive-rus/1241-049-060 (дата обращения: 15.08.2026).

10. Migration to Post-Quantum Cryptography // National Cybersecurity Center of Excellence. – URL: https://www.nccoe.nist.gov/applied-cryptography/migration-to-pqc (дата обращения: 15.08.2026). – Текст : электронный.

ЭКОСИСТЕМА ФИНТЕХ

УДК 336:004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПЕРСОНАЛЬНЫХ ФИНАНСАХ: ФОРМИРОВАНИЕ ОСОЗНАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМ СОСТОЯНИЕМ И РИСКАМИ НА ПРИМЕРЕ ПЛАТФОРМЫ MONETRIX

Абдулгужин И.Д., студент Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», основатель финтех-платформы Monetrix, г. Санкт-Петербург, Россия;
E-mail: Idabdulguzhin@edu.hse.ru

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PERSONAL FINANCE: DEVELOPING FINANCIAL AWARENESS AND RISK MANAGEMENT THROUGH THE MONETRIX PLATFORM

Abdulguzhin I.D., student, HSE University, Founder of the Monetrix fintech platform, St Petersburg, Russia;
E-mail: Idabdulguzhin@edu.hse.ru

Аннотация

В статье исследуется роль технологий искусственного интеллекта в управлении личными финансами. Рассматриваются ключевые проблемы современного пользователя финансовых услуг: фрагментированность данных, низкая финансовая осознанность и отсутствие инструментов системного управления рисками. На примере российской FinTech-платформы Monetrix анализируются подходы к AI-гиперперсонализации, агрегации финансовых данных через Open Banking API и формированию индекса финансового здоровья. Исследование опирается на данные Банка России и НАФИ, академические работы по поведенческой экономике и международный опыт robo-advisory. Показано, что комплексная интеграция ИИ в персональные финансы может повысить качество финансовых решений при условии объяснимости алгоритмов и надлежащей защиты данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, персональные финансы, финансовое здоровье, управление рисками, финтех, Open Banking, гиперперсонализация, финансовый аватар, машинное обучение, поведенческая экономика

Abstract

This article examines the role of artificial intelligence in personal finance management. It focuses on data fragmentation, limited financial awareness, and the lack of systematic risk-management tools. Using the Russian FinTech platform Monetrix as a case study, the paper analyzes AI hyperpersonalization, financial-data aggregation through Open Banking APIs, and financial health index design. The analysis draws on data from the Bank of Russia and the NAFI Research Center, academic work in behavioral economics, and international robo-advisory experience. It argues that integrated AI tools can improve the quality of personal financial decisions, provided that algorithmic explainability and data protection requirements are met.

Keywords: artificial intelligence, personal finance, financial health, risk management, fintech, Open Banking, hyperpersonalization, financial avatar, machine learning, behavioral economics

Введение

Цифровая трансформация финансовой отрасли последнего десятилетия создала парадокс: несмотря на беспрецедентную доступность финансовых инструментов, осознанность граждан в управлении собственными деньгами не растёт пропорционально. По данным пятого волнового исследования Банка России (2024), Российский индекс финансовой грамотности достиг исторического максимума – 55 баллов из 100, – однако почти половина инвесторов по-прежнему не имеет инвестиционной стратегии и лишь четверть пользуется профессиональной аналитикой [1]. Исследование аналитического центра НАФИ (2024) фиксирует: при том, что 70% россиян имеют средний или высокий уровень финансовой грамотности, лишь 48% занимаются финансовым планированием домохозяйства [2]. Среднестатистический российский пользователь держит открытыми более 10 банковских продуктов, пользуется 5–7 финансовыми приложениями и тратит свыше 30 минут в день на взаимодействие с ними – без системного понимания общей картины.

Данная ситуация воспроизводит феномен, описанный в поведенческой экономике как «информационная перегрузка»: когда объём доступных данных превышает когнитивные возможности субъекта, качество принимаемых решений не улучшается, а ухудшается [3]. Применительно к сфере личных финансов это означает, что само по себе увеличение числа финансовых приложений не решает проблему осознанного управления деньгами – необходим качественно иной инструмент, способный агрегировать, интерпретировать и трансформировать разрозненные данные в персонализированные действия.

Технологии искусственного интеллекта (далее – ИИ) открывают принципиально новые возможности для решения данной задачи. Методы машинного обучения, обработки естественного языка и поведенческой аналитики применяются для категоризации транзакций, формирования персонализированных финансовых профилей, прогнозирования рисков и моделирования сценариев достижения целей [5; 10].

В России развитие AI-персонализации в финансах приобретает особую актуальность в контексте регуляторного курса Банка России на стандартизацию Открытых API: согласно концепции регулятора, использование единых Open API-стандартов станет обязательным для крупнейших банков и брокеров не позднее 2026–2027 гг. [4], что создаёт инфраструктурную основу для нового поколения агрегирующих PFM-платформ.

Цель настоящей статьи – на основе критического анализа международного опыта и российской практики исследовать механизмы применения ИИ в управлении личными финансами, а также оценить архитектурные и методологические решения платформы Monetrix с точки зрения их соответствия актуальным академическим концепциям и потребностям рынка. Объектом исследования выступают AI-системы управления персональными финансами; предметом – их функциональные, технологические и поведенческие аспекты.

Гипотеза: комплексная интеграция ИИ-инструментов в единую PFM-платформу, объединяющую агрегацию данных, визуализацию финансового здоровья и персонализированные рекомендации, обеспечивает статистически значимое снижение нерациональных финансовых расходов и повышение качества финансовых решений пользователей.

Теоретический обзор литературы

Теоретический фундамент настоящего исследования опирается на три взаимодополняющих блока научных концепций: (1) ИИ и машинное обучение в финансах; (2) поведенческая экономика и «подталкивание»; (3) концепция финансового здоровья.

Искусственный интеллект в финансовой сфере

Систематический анализ литературы, выполненный Goodell et al. (2021) в Journal of Behavioral and Experimental Finance, выявил пять ключевых направлений применения ИИ в финансах: алгоритмическая торговля, кредитный скоринг, обнаружение мошенничества, управление активами и персональное консультирование [5]. Применительно к персональным финансам концепция Personal Finance Management (PFM) прошла путь от инструментов руч-

ного учёта расходов к автоматизированным платформам нового поколения, объединяющим агрегацию данных, предиктивную аналитику и генеративный ИИ.

Ключевым катализатором качественного скачка стало развитие стандартов Open Banking API, позволяющих с согласия клиента передавать финансовые данные между банками и сторонними сервисами. В России Банк России совместно с Ассоциацией ФинТех реализует поэтапный переход к открытым API и стандартизированному обмену данными о счетах клиентов [4].

Пионерами применения ИИ в персональном финансовом планировании стали американские robo-advisory платформы Betterment и Wealthfront. Они автоматизируют подбор и ребалансировку портфеля, налоговую оптимизацию и планирование инвестиций с учётом целей пользователя. Исследования показывают, что robo-advisors способны снижать влияние таких поведенческих искажений, как инерция, недостаточная диверсификация и несвоевременная реакция на рыночные изменения [6].

Институциональное применение ИИ также выходит за пределы автоматизации отдельных операций: финансовые организации используют интеллектуальные системы для подготовки аналитики, поддержки консультантов и персонализации взаимодействия с клиентами. Обзоры литературы относят персональное консультирование и управление активами к ключевым направлениям применения ИИ в финансах [5; 10].

Поведенческая экономика и цифровое «подталкивание»

Нобелевский лауреат Ричард Таллер и Касс Санстейн в концепции «nudging» (2008) обосновали, что правильно сконструированная «архитектура выбора» способна направлять решения людей к более рациональным исходам без ограничения свободы выбора [3]. Применительно к цифровым финансовым инструментам это означает, что визуализация финансового состояния, персонализированные уведомления и упрощённые пути к целевым действиям являются более эффективным инструментом изменения финансового поведения, чем традиционное финансовое образование.

Эмпирические исследования подтверждают этот тезис. D'Acunto, Prabhala и Rossi (2019) установили, что использование robo-advisors ослабляет отдельные поведенческие смещения инвесторов, включая наивную диверсификацию и предвзятость статус-кво [6]. Kanaparthi (2024) показывает, что воспринимаемая персонализация положительно связана с ценностью и лояльностью к сервису, однако непрозрачная персонализация способна подрывать доверие [7].

Концепция финансового здоровья

Концепция финансового здоровья (financial well-being / financial health) активно разрабатывается CFPB начиная с 2015 года. Согласно определению Бюро, финансовое здоровье – это состояние, при котором человек способен управлять текущими обязательствами, сохранять устойчивость к финансовым шокам, двигаться к финансовым целям и обладать свободой выбора [8]. Для измерения этого состояния CFPB разработало 10-пунктную Financial Well-Being Scale.

Lusardi и Mitchell (2014) в обзоре, опубликованном в Journal of Economic Literature, показывают: низкий уровень финансовой грамотности связан с избыточным потреблением, недостаточными накоплениями, высокими расходами на обслуживание долга и уязвимостью к финансовым мошенничествам [9]. Следовательно, инструменты, повышающие финансовую осознанность через персонализированную визуализацию и рекомендации, могут иметь значимый социально-экономический эффект.

Обзор литературы позволяет выявить два ключевых пробела, которые настоящая статья стремится восполнить. Во-первых, большинство существующих исследований сосредоточены на западных рынках; специфика российского финансового рынка – структура регулирования, поведенческие паттерны, поэтапное внедрение Open Banking – в академической литературе освещена недостаточно. Во-вторых, большинство работ рассматривают отдельные

компоненты PFM-систем, не анализируя синергетический эффект их интеграции. Исследование платформы Monetrix позволяет заполнить этот пробел.

Методы и данные

Исследование выполнено с применением комплекса взаимодополняющих методов. Теоретической основой служит анализ литературы по четырём направлениям: ИИ в финансовых сервисах, поведенческая экономика, финансовое здоровье и развитие Open Banking. При отборе источников учитывались их актуальность и авторитетность; приоритет отдавался рецензируемым научным публикациям, а также материалам Банка России, НАФИ и CFPB.

Эмпирический блок исследования строится на методе глубинного кейс-стади (in-depth case study) применительно к платформе Monetrix. Данные получены из следующих источников: (1) внутренняя документация и питч-материалы проекта; (2) результаты двух фокус-групп по 25 участников каждая, проведённых командой платформы в формате тестирования прототипа с последующим структурированным интервью; (3) технические результаты коммерческого пилота с компанией ФИНАМ по тестированию API-интеграции; (4) публичные данные о результатах прохождения буткэмп-программы Sber 500 × GigaChat. Выборка фокус-групп включала пользователей в возрасте 22–45 лет с активным использованием не менее двух финансовых приложений.

Сравнительный анализ конкурентного ландшафта проводился методом функционального картирования: по шести параметрам (мультибанкинг, AI-ассистент, расширенная аналитика, Open Banking API, маркетплейс живых консультантов, персональная витрина продуктов) анализировались шесть платформ – Monetrix, CoinKeeper, Дзен-мани, EasyFinance, Monetral, 1Money. Источниками информации о конкурентах служили официальные сайты, публичные обзоры и данные магазинов приложений (App Store, Google Play) по состоянию на I квартал 2026 г.

Рыночный потенциал оценивался на основе внутренних расчётов TAM/SAM/SOM команды Monetrix; эти оценки рассматриваются как предварительные и требуют дальнейшей верификации. Технологическая архитектура платформы анализировалась с позиций соответствия стандартам безопасности ISO 27001 и актуальным отраслевым практикам. Ограничением исследования является относительно малый размер выборки фокус-групп, поэтому полученные результаты имеют разведочный характер и не позволяют делать статистически значимые обобщения.

Результаты исследования

Проблема финансовой фрагментации: масштаб и последствия

Систематизация данных из различных источников позволяет количественно охарактеризовать проблему финансовой фрагментации в России. По оценкам команды Monetrix, основанным на собственных фокус-группах и открытых данных отраслевых исследований, среднестатистический активный пользователь финансовых сервисов имеет одновременно 10+ открытых банковских продуктов, использует 5–7 приложений для их контроля и тратит более 30 минут ежедневно на управление финансами. При этом около 80% не осведомлены о реальных комиссиях, которые они платят, а средний размер скрытых нерациональных расходов составляет порядка 3 500 рублей в месяц.

Примечательно, что согласно данным ЦБ РФ, почти половина российских инвесторов не имеет стратегии вложения средств, и лишь четверть пользуется профессиональной аналитикой [1]. Это свидетельствует: проблема носит не просто технический, но и поведенческий характер. Пользователи утопают в цифрах, но не управляют ими осознанно – а значит, простое добавление ещё одного приложения-счётчика расходов не решит задачу. Требуется качественно иной подход.

Международные исследования также показывают, что доступ к финансовым продуктам сам по себе не гарантирует финансового благополучия. На него влияют финансовая грамотность, качество повседневных решений, способность выдерживать финансовые шоки

и двигаться к долгосрочным целям [8; 9]. Следовательно, пользователю нужен не дополнительный счётчик расходов, а система, превращающая данные в понятные действия.

Международные кейсы: как ИИ меняет персональные финансы

Кейс 1. Betterment и Wealthfront: демократизация инвестиций

Betterment и Wealthfront демонстрируют, как алгоритмизация инвестиционного процесса помогает ограничить влияние поведенческих смещений и сделать базовые элементы портфельного управления доступными широкой аудитории [6]. К ключевым функциям таких платформ относятся автоматическая ребалансировка, налоговая оптимизация и goal-based investing с персонализированными горизонтами.

Практический эффект robo-advisory связан не с гарантией повышенной доходности, а с дисциплиной исполнения выбранной стратегии: автоматизация поддерживает целевое распределение активов, снижает вероятность импульсивных решений и уменьшает зависимость результата от момента ручного вмешательства [6].

Кейс 2. Институциональные ИИ-ассистенты в финансовом консультировании

Крупные финансовые организации внедряют ИИ-ассистентов для подготовки аналитики, обработки запросов клиентов и поддержки финансовых консультантов. Такие решения не обязательно заменяют специалиста: чаще они ускоряют рутинные операции и позволяют сосредоточить человеческую экспертизу на сложных и ответственных решениях [5; 10].

Кейс 3. Финансовые агрегаторы и эволюция PFM-категоризации

Развитие финансовых агрегаторов показало востребованность автоматического объединения данных и категоризации транзакций. Современные AI-PFM-системы используют методы машинного обучения для распознавания типов операций, выявления повторяющихся платежей, прогнозирования денежных потоков и формирования персонализированных рекомендаций [10].

Архитектура платформы Monetrix и её теоретические основания

Опираясь на международный опыт и академические концепции, платформа Monetrix строится на трёх взаимосвязанных функциональных блоках, каждый из которых решает конкретную выявленную проблему.

Первый блок – мультибанковая агрегация через Open Banking API – напрямую адресует проблему информационной фрагментации. На момент написания статьи подтверждены работающие интеграции с ФИНАМ и Т-Инвестициями; завершено глубинное тестирование API Альфа-Банка, ВТБ, АЛОР, БКС; заключены партнёрские соглашения с Т-Банком, Альфа-Банком, ВТБ и ФИНАМ. Данные обновляются в режиме реального времени, автоматическая классификация транзакций достигает точности около 90%. Технологический стек – FastAPI/Python/PostgreSQL для серверной части, React и Flutter для кроссплатформенного интерфейса – соответствует стандартам промышленного масштабирования. Безопасность данных обеспечивается шифрованием AES-256, протоколом OAuth 2.0 и принципом обезличивания данных перед передачей в AI-модули.

Второй блок – AI-агент «Кэшик» – реализует концепцию цифрового «подталкивания» через персонализированные рекомендации. Агент построен на основе GPT-моделей, фреймворка LangChain и ML-алгоритмов поведенческой аналитики. Он работает в трёх режимах: инвест-советник (анализирует инвестиционные позиции и предлагает оптимизацию), советник-оптимизатор (выявляет нерациональные расходы – дублирующиеся подписки, переплаты по кредитам, неоптимальные тарифы) и консультант по финансовому комплаенсу (прогнозирует риски блокировки операций в рамках 115-ФЗ). Принципиально важна функция предиктивного анализа: в отличие от классических чат-ботов, отвечающих лишь на заданные вопросы, «Кэшик» проактивно выявляет риски на основе поведенческих паттернов пользователя.

Третий блок – цифровой финансовый аватар – воплощает принцип визуализации финансового здоровья, теоретически обоснованный в работах CFPB [8] и поведенческих исследованиях. Аватар отображает интегральный индекс финансового здоровья в виде трёх зон:

зелёная (устойчивое положение), оранжевая (умеренные риски), красная (критическое состояние). Индекс формируется на основе четырёх измерений, корреспондирующих с CFPB Financial Well-Being Scale: текущей ликвидности, долговой нагрузки, накопительного потенциала и степени достижения финансовых целей. Визуальный характер обратной связи снижает когнитивные барьеры и мотивирует на проактивное финансовое поведение, что согласуется с теоретическими предсказаниями теории архитектуры выбора [3].

Четвёртый блок – маркетплейс сертифицированных Банком России финансовых консультантов – решает проблему доступности профессионального совета. В России консультации сертифицированного финансового советника стоят от 3 000 до 10 000 рублей за сессию и недоступны большинству граждан. Маркетплейс с комиссией 10% с консультации (при среднем чеке ~3 000 рублей) делает профессиональный совет доступным по запросу – аналогично тому, как Betterment сделал доступными профессиональные инвестиционные стратегии.

Результаты пилотного тестирования

В ходе двух фокус-групп (N=50) по итогам четырёхнедельного использования прототипа были зафиксированы следующие предварительные результаты. Участники отметили: упрощение понимания собственного финансового состояния – 88% охарактеризовали ценность единой панели управления как «высокую» или «очень высокую»; выявление скрытых расходов – в среднем участники обнаружили 2–3 нерациональных регулярных платежа; снижение тревожности – 72% отметили снижение «финансовой тревожности» после недели использования. Первичная выручка платформы по результатам фокус-групп составила 10 000 рублей. Коммерческий пилот с ФИНАМ подтвердил работоспособность API-интеграции инвестиционных сервисов в реальных условиях. Следует оговориться: размер выборки не позволяет делать статистически значимых обобщений; данные носят характер разведочных.

Сравнительный анализ конкурентного ландшафта

Таблица 1 представляет результаты функционального картирования ключевых PFM-платформ российского рынка по шести параметрам.

Таблица 1

Сравнительный анализ функциональных возможностей PFM-платформ на российском рынке

Платформа	Мульти-банкинг	ИИ-ассистент	Расш. аналитика	Open API	Консультанты	Витрина продуктов
Monetrix	+	+	+	+	+	+
CoinKeeper	+	±	±	–	–	–
Дзен-мани	+	–	+	±	–	–
EasyFinance	+	–	±	–	–	–
Monetral	+	–	+	+	–	–
1Money	–	+	±	–	–	–

Примечание: «+» – функция реализована; «±» – частичная реализация; «–» – функция отсутствует. Составлено автором на основе анализа официальных сайтов и магазинов приложений, I кв. 2026 г.

Анализ демонстрирует: Monetrix является единственной платформой на исследуемом рынке, сочетающей все шесть функциональных параметров. Принципиальным конкурентным преимуществом выступает независимость от экосистемы конкретного банка – в отличие от СберФинансов или Т-Банка, которые ограничены собственными продуктовыми линейками. Это соответствует тренду, прослеживаемому в мировом опыте: именно банко-независимые агрегаторы (Plaid, Yodlee в США; Tink в Европе) стали наиболее ценными инфраструктурными игроками Open Banking-экосистем.

Оценка рыночного потенциала

Общий адресный рынок (TAM) персональных финансовых AI-сервисов в России оценивается командой Monetrix в 1 трлн рублей, исходя из общего объёма рынка финансовых услуг физическим лицам и потенциальной доли AI-решений. Доступный рынок (SAM) – около 230 млрд рублей с учётом технологических и партнёрских ограничений текущего этапа. Реально достижимый рынок (SOM) в горизонте трёх лет – 5 млрд рублей. Эти значения являются внутренней оценкой команды и требуют дальнейшей верификации на рыночных данных.

Обсуждение

Результаты исследования позволяют сформулировать ряд теоретических и практических выводов, а также обозначить ограничения и направления дальнейших исследований.

Теоретическая интерпретация

Платформа Monetrix реализует комплексный подход, интегрирующий три научные концепции. Первая – автоматизированная агрегация данных на основе машинного обучения – соответствует современным исследованиям ИИ в финансах [10]. Вторая – цифровое «подталкивание» через визуализацию финансового здоровья – опирается на теорию архитектуры выбора [3]. Третья – персональный AI-советник как инструмент демократизации профессионального совета – следует логике robo-advisory: снижение стоимости консультации расширяет аудиторию осознанного финансового планирования.

Синергия этих концептов формирует нелинейный эффект: агрегация данных обеспечивает качество персонализации, персонализация усиливает «подталкивающий» эффект визуализации, а доступность живого советника – «предохранительный клапан» для сложных решений, которые AI не может принять вместо пользователя. Это разграничение принципиально: как показывает анализ Kanaparthi (2024), злоупотребление алгоритмической персонализацией без прозрачности подрывает доверие [7].

Регуляторный контекст и барьеры

Ключевым системным барьером для развития платформы остаётся незавершённость регуляторной базы Open Banking в России. Концепция Банка России предусматривает поэтапное внедрение стандартов открытых API на финансовом рынке [4]. До утверждения единого операционного стандарта партнёрские API-интеграции реализуются на индивидуальных договорных основаниях, что повышает издержки масштабирования.

Вместе с тем регуляторный вектор зафиксирован в Концепции внедрения открытых API на финансовом рынке Банка России. Стандартизация обмена данными должна снизить издержки интеграции, усилить конкуренцию и расширить возможности пользователей финансовых сервисов [4].

Второй барьер – доверие пользователей к передаче финансовых данных третьим сервисам. Исследования персонализации в цифровых финансах показывают, что непрозрачность алгоритмов и обработки данных способна снижать доверие к сервису [7]. Поэтому критически важны объяснимость рекомендаций, прозрачная политика обработки данных и возможность отзыва доступа в любой момент.

Ограничения исследования

Исследование имеет ряд существенных ограничений. Во-первых, эмпирический блок опирается на данные фокус-групп с малой выборкой (N=50), что недостаточно для статистически значимых выводов о влиянии платформы на финансовое поведение. Во-вторых, платформа находится на стадии MVP, поэтому ряд заявленных функций (в частности, предиктивный анализ рисков по 115-ФЗ) не прошёл полного производственного тестирования. В-третьих, сравнительный анализ конкурентов основан на публично доступных данных и может не отражать внутренние разработки соперников. Верификация гипотезы требует проведения рандомизированного контролируемого исследования (RCT) на выборке 500+ пользователей с временным горизонтом не менее 6 месяцев.

Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать шесть основных выводов.

Во-первых, проблема финансовой фрагментации носит системный характер и не решается простым увеличением числа финансовых приложений. По данным Банка России и НАФИ, рост отдельных показателей финансовой грамотности не устраняет дефицит планирования и осознанного управления личными финансами [1; 2]. Это формирует спрос на инструменты, объединяющие данные из разных источников в единый персонализированный интерфейс.

Во-вторых, международный опыт демонстрирует потенциал AI-инструментов для изменения финансового поведения. Robo-advisors автоматизируют исполнение инвестиционной стратегии и ограничивают влияние отдельных поведенческих искажений [6], а интеллектуальные системы в финансовых организациях поддерживают аналитику, управление активами и персональное консультирование [5; 10]. Эти результаты подтверждают применимость концепций поведенческой экономики в цифровой финансовой среде.

В-третьих, концепция цифрового финансового аватара представляет собой нетривиальное архитектурное решение, реализующее принципы теории «подталкивания» Таллера и Санстейна. Визуализация финансового здоровья в трёхзонной системе снижает когнитивные барьеры и формирует эмоциональную мотивацию к проактивным действиям. Данный подход качественно отличается от всех проанализированных конкурентов, что формирует дифференцированную ценность для пользователя.

В-четвёртых, конкурентный анализ шести PFM-платформ российского рынка по шести параметрам показал, что Monetrix является единственным игроком, сочетающим мультибанкинг, AI-ассистент, расширенную аналитику, Open Banking API, маркетплейс живых консультантов и персональную продуктовую витрину. Независимость от экосистемы конкретного банка при развитии регуляторной базы Open Banking станет ключевым конкурентным преимуществом.

В-пятых, регуляторный курс России на внедрение стандартов открытых API создаёт инфраструктурную основу для масштабирования платформ-агрегаторов [4]. Вместе с тем существенными барьерами остаются незавершённость регуляторной базы, доверие пользователей к передаче финансовых данных и отсутствие единого операционного API-стандарта.

В-шестых, практическая значимость исследования состоит в обосновании модели, которую возможно адаптировать как регуляторами – при разработке политики повышения финансовой грамотности населения через цифровые инструменты, так и участниками рынка – при проектировании AI-продуктов нового поколения. Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение рандомизированного контролируемого эксперимента (RCT) с расширенной выборкой для количественной оценки влияния комплексной AI-PFM-платформы на ключевые показатели финансового здоровья пользователей в российских условиях.

Список литературы

1. Банк России. Исследование уровня финансовой грамотности – пятый этап. – М.: Банк России, 2024. – URL: https://cbr.ru/analytics/szpp/fin_literacy/research/fin_ed_5/ (дата обращения: 05.03.2026).

2. НАФИ. Финансовая грамотность россиян – 2024: результаты ежегодного всероссийского мониторинга. – Москва : Аналитический центр НАФИ, 2024. – URL: https://nafi.ru/projects/finansy/finansovaya-gramotnost-rossiyan-2024/ (дата обращения: 05.03.2026).

3. Thaler R. H., Sunstein C. R. Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness. – New Haven: Yale University Press, 2008. – 293 p.

4. Банк России. Концепция внедрения открытых API на финансовом рынке. – Москва : Банк России, 2024. – URL: https://cbr.ru/fintech/open_api/ (дата обращения: 05.03.2026).

5. Goodell J. W., Kumar S., Lim W. M., Pattnaik D. Artificial intelligence and machine learning in finance: Identifying foundations, themes, and research clusters from bibliometric analysis // Journal of Behavioral and Experimental Finance. – 2021. – Vol. 32. – Art. 100577.

6. D'Acunto F., Prabhala N., Rossi A. G. The Promises and Pitfalls of Robo-Advising // The Review of Financial Studies. – 2019. – Vol. 32. – № 5. – P. 1983–2020.

7. Kanaparthi V. AI-based Personalization and Trust in Digital Finance. – arXiv, 2024. – DOI: 10.48550/arXiv.2401.15700.

8. Consumer Financial Protection Bureau. Financial Well-Being: The Goal of Financial Education. – Washington, DC: CFPB, 2015. – 84 p.

9. Lusardi A., Mitchell O. S. The Economic Importance of Financial Literacy: Theory and Evidence // Journal of Economic Literature. – 2014. – Vol. 52. – № 1. – P. 5–44.

10. Cao L. AI in Finance: Challenges, Techniques, and Opportunities // ACM Computing Surveys. – 2022. – Vol. 55. – № 3. – Art. 64. – P. 1–38.

УДК 336.7:004.9

PLATFORMIZATION OF FINANCIAL SERVICES AND THE TRANSFORMATION OF PROVIDER–CONSUMER INTERACTION MODELS

Bulatova E.I., candidate of economic sciences, associate professor, Department of financial markets and financial institutions, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-6523-7194;
E-mail: bulatovaei@yandex.ru

ПЛАТФОРМИЗАЦИЯ ФИНАНСОВЫХ УСЛУГ И ТРАНСФОРМАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОСТАВЩИКОВ И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Булатова Э.И., к.э.н., доцент кафедры финансовых рынков и финансовых институтов Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-6523-7194;
E-mail: bulatovaei@yandex.ru

Abstract

The digital transformation of the financial sector increasingly extends beyond shifting traditional banking transactions to remote channels. The architecture of interaction between financial service providers and consumers is changing as customer access, offer matching, data management, and customer journey coordination become distributed among several participants. The aim of the study is to clarify the concept of financial services platformization and identify the logic of transformation in provider–consumer interaction models. The methodology combines comparative analysis of research on multisided platforms, financial technologies, Open Banking, and BigTech finance; functional decomposition of financial service delivery; and analysis of Russian legislation and official Bank of Russia documents. The study distinguishes a financial product as a structured offering with specified parameters and terms from a financial service as the process through which that offering is delivered to the consumer. The findings show that channel digitalization and platformization are not equivalent. Under channel digitalization, a financial institution retains control over key customer interaction functions, whereas platformization redistributes these functions among the financial service provider, the digital platform, and other ecosystem participants. Five interaction models

are identified: institution-centric, digital omnichannel, marketplace, ecosystem, and embedded finance. Open Banking and Open Finance are treated as infrastructures for data exchange and interorganizational interaction, while Banking-as-a-Service is viewed as a mechanism for the modular provision of banking functions. Platformization is shown to lead not to the elimination of financial intermediation but to its reintermediation through the redistribution of coordination functions and a shift in the center of customer interaction. The scientific contribution lies in distinguishing the models by the allocation of customer interface management, offer matching, financial product design, data management, and customer journey coordination. The proposed approach enables digital business models to be compared according to the distribution of functions among participants, irrespective of formal labels or technologies.

Keywords: platformization, financial services, digital platforms, financial ecosystems, financial marketplaces, Open Banking, Open Finance, Open API, embedded finance, Banking-as-a-Service, customer interaction

Аннотация

Цифровая трансформация финансового сектора все в меньшей степени сводится к переносу традиционных банковских операций в дистанционные каналы. На современном этапе меняется архитектура взаимодействия поставщика и потребителя финансовой услуги, поскольку функции доступа к клиенту, сопоставления предложений, управления данными и координации клиентского пути могут распределяться между несколькими участниками цифровой среды. Цель исследования состоит в уточнении содержания платформизации финансовых услуг и выявлении логики трансформации моделей взаимодействия поставщиков и потребителей. Методическую основу составили сравнительный анализ исследований по экономике многосторонних платформ, финансовым технологиям, Open Banking и BigTech finance, функциональная декомпозиция процесса предоставления финансовой услуги, а также анализ российского законодательства и официальных документов Банка России. Для разграничения моделей уточнено различие между финансовым продуктом как структурированным предложением с заданными параметрами и условиями, и финансовой услугой как процессом его предоставления потребителю. Показано, что цифровизация каналов продаж и платформизация не тождественны. При цифровизации финансовая организация сохраняет контроль над основными функциями клиентского взаимодействия, тогда как платформизация предполагает их перераспределение между поставщиком финансовой услуги, цифровой платформой и иными участниками экосистемы. Выделены пять моделей взаимодействия: институционально-центричная, цифровая омниканальная, маркетплейсная, экосистемная и модель встроенных финансов. Open Banking и Open Finance рассматриваются как инфраструктура обмена данными и межорганизационного взаимодействия, а Banking-as-a-Service – как механизм модульного предоставления банковских функций. Сделан вывод, что платформизация обуславливает не устранение финансового посредничества, а его реинтермедиацию, связанную с перераспределением координационных функций и смещением центра клиентского взаимодействия. Научная новизна состоит в функциональном разграничении моделей по фактическому распределению клиентского интерфейса, поиска и сопоставления предложений, формирования финансового продукта, управления данными и координации клиентского пути. Предложенный подход позволяет сопоставлять цифровые бизнес-модели по распределению функций между участниками независимо от их формальных наименований и используемых технологий и может применяться при анализе платформенной трансформации финансового рынка.

Ключевые слова: платформизация, финансовые услуги, цифровые платформы, финансовые экосистемы, финансовые маркетплейсы, Open Banking, Open Finance, Open API, embedded finance, Banking-as-a-Service, клиентское взаимодействие

Introduction

For a long time, technological development in financial markets was described primarily in terms of digitalization. Bank branch networks and points of sale were supplemented by internet banking, mobile applications, and other remote channels. Contemporary platform transformation, however, affects not only the mode of service delivery but also the allocation of functions among market participants.

Digital platforms create a multisided environment in which consumers, financial institutions, technology companies, and providers of non-financial services interact. Classical platform theory associates their distinctive features with the coordination of multiple user groups and network effects [1], while platform-based models in the financial sector additionally rely on data, matching algorithms, and scalable digital infrastructure [2].

The changing role of intermediaries is particularly evident in BigTech companies. Their advantages arise from the mutually reinforcing interaction of data, network scale, and user activity, as a broad user base generates data, the use of which improves service quality and personalization, while service development further stimulates user activity [3]. As a result, financial services are increasingly embedded in broader digital journeys, while the financial service provider may cease to control the primary customer interface.

In academic and applied literature, digitalization, platforms, ecosystems, Open Banking, Open Finance, Banking-as-a-Service, and embedded finance are often considered within the same analytical plane, although they refer to different levels of financial service organization. This makes it difficult to identify platform transformation as a distinct process.

The aim of this article is to identify the defining feature of financial services platformization and to develop a typology of provider–consumer interaction models. The research hypothesis is that platformization is determined not by the use of digital technologies as such, but by the redistribution of customer interaction functions among the financial service provider, the digital platform, and other participants in the digital ecosystem.

Research Methodology

The study is conceptual and analytical. The methods include comparative analysis of the theory of two-sided and multisided platforms and recent research on platform business models, BigTech finance, and Open Banking [2–6]; functional decomposition of financial service delivery; and analysis of the Russian institutional context based on Russian legislation and official Bank of Russia documents [7–10].

For the purposes of this study, a financial product is understood as a structured offering with specified parameters and terms, whereas a financial service is understood as the process through which that offering is delivered to the consumer. The primary unit of analysis is the interaction architecture surrounding a specific financial service. Five customer interaction functions are distinguished for comparing the models: customer interface management; offer discovery and matching; financial product design and key financial decision-making; customer data and consent management; and customer journey coordination.

1. Platformization as a Change in the Architecture of Financial Intermediation

The economic essence of a platform lies not in the existence of a mobile application or website, but in organizing interactions among multiple market participants. A financial institution may therefore remain an institution-centric provider even when using advanced digital channels, provided that it retains responsibility for offer design, financial service delivery, and customer interaction coordination. Conversely, a non-financial digital platform may become the central organizer of access to a financial service without assuming traditional banking risks on its balance sheet.

Research on platform business models in the financial sector shows the simultaneous development of platforms operated by FinTech companies, BigTech firms, and incumbent financial institutions transforming their own business models [2]. Platformization is therefore not limited to

technology companies entering financial services; it also encompasses the transformation of incumbent financial institutions.

Changes in the distribution of information further weaken customers' dependence on a single institution. Open Banking expands the ability to share transaction data with third parties and may thereby alter the informational advantages of banks and FinTech firms [4]. The development of Application Programming Interfaces (APIs) and partnership models allows a financial institution to retain responsibility for financial product design and service delivery while becoming less visible in the customer interface [5].

Financial services platformization is defined as the transition from an institution-centric model of financial service delivery to a multi-actor digital architecture in which customer access, offer matching, data exchange, and customer interaction coordination are partially or fully separated from the financial service provider and transferred to a digital platform or distributed among ecosystem participants.

This interpretation distinguishes platformization from simple automation and the digitalization of service channels. The process is more appropriately understood as reintermediation rather than disintermediation, because intermediary functions do not disappear but are redistributed among new participants in the digital environment [6].

2. Transformation of Provider–Consumer Interaction Models

The transformation of interaction between financial service providers and consumers can be represented by five models that differ in the allocation of customer interaction functions, including interface management, offer discovery and matching, data management, and customer journey coordination. The logic of these changes is presented in Figure 1.

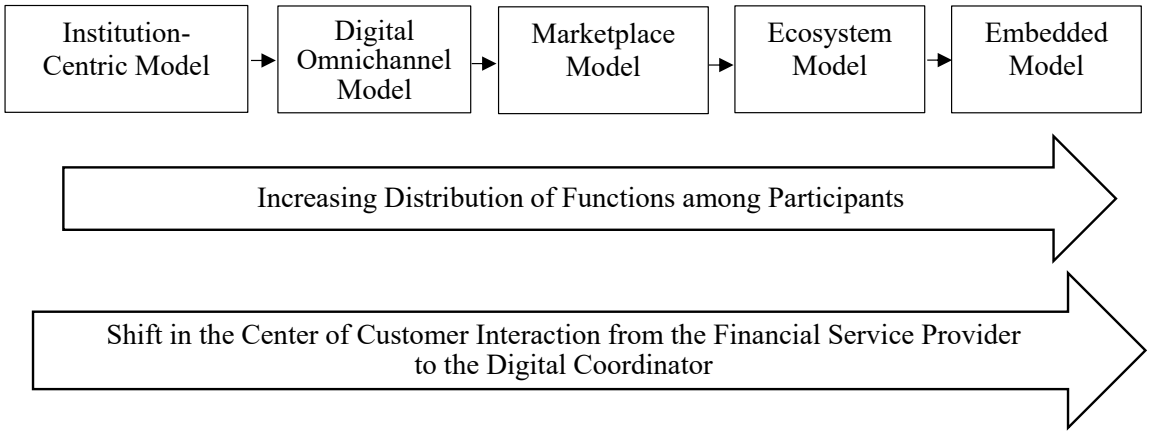


Figure 1. Transformation of Interaction Models between Financial Service Providers and Consumers in the Platformization Process

Source: compiled by the author.

The institution-centric model assumes direct interaction between the customer and a financial institution that designs the financial product, delivers the service, provides ongoing servicing, and controls the main information flows. The center of coordination remains within a single financial institution.

The digital omnichannel model shifts a substantial share of interaction to remote channels. The financial institution nevertheless retains control over the product, customer interface, data, and key stages of service delivery. The development of digital channels alone therefore does not constitute platformization.

The marketplace model emerges when financial product design is separated from the organization of consumer access to that product. The platform aggregates offers from multiple providers, supports their discovery and matching, and coordinates customer interaction, while product terms,

financial decision-making, and service delivery remain the responsibility of the relevant financial institution. At this stage, the transition from channel digitalization to platform-based interaction becomes particularly visible.

The ecosystem model involves deeper integration of financial and non-financial services within a single customer environment. The ecosystem coordinator combines offerings and manages the interface and customer journey, while the financial service becomes part of a broader set of interconnected services. Customer behavioral data and network effects become increasingly important [2; 3].

The most pronounced separation of the customer interface from the financial service provider occurs in the embedded finance model, where a financial function is integrated directly into a non-financial user journey. Payments, lending, insurance, or another financial service is offered at the point of need, while consumer interaction takes place primarily through the interface of a commercial, technology, or other non-financial platform. The financial institution may continue to perform financial product design and service delivery while remaining less visible to the end consumer.

Thus, platformization is accompanied by a redistribution of customer interaction functions among participants in the digital environment and by a shift in the center of coordination beyond a single financial institution. The identified models do not constitute a mandatory chronological sequence and may coexist in the financial market or be combined within the activities of a single provider.

3. Open Banking, Open Finance, and Banking-as-a-Service as Infrastructure for Financial Services Platformization

Open Banking, Open Finance, and Banking-as-a-Service (BaaS) represent infrastructure mechanisms of platformization and are not treated as standalone customer interaction models. Open Banking and Open Finance primarily reshape the architecture of data access and interorganizational interaction, whereas BaaS enables the modular provision of banking functions to external digital services.

Theoretical research suggests that data portability reduces dependence on a single financial institution and may alter the informational advantages of market participants [4]. Open Finance expands the possibilities for interorganizational use of financial data, while BaaS enables the customer interface to be separated from the institution providing the underlying banking functions. This is particularly evident in embedded finance, where the consumer interacts through a non-financial digital interface.

Platform transformation therefore has at least two interrelated dimensions. The interface dimension reflects the allocation of control over the point of customer contact and the customer journey, while the service-provision and infrastructure dimension reflects the distribution of product-design, technological, and information functions across multiple organizations. Open Banking and Open Finance provide data-sharing infrastructure, BaaS supports the modular provision of banking functions, and platform models determine how interaction with the consumer is organized.

4. The Russian Trajectory of Financial Services Platformization

Russian practice combines the development of specialized financial platforms, banking and technology ecosystems, and Open Finance infrastructure. Federal Law No. 211-FZ of 20 July 2020 defines a financial platform as an information system that enables interaction between financial institutions or issuers and recipients of financial services for the purpose of conducting financial transactions [9]. Within the proposed typology, this arrangement primarily corresponds to the marketplace model, because the digital platform organizes access to offers and interaction among participants, while the parties to the financial transaction are the relevant financial institution or issuer.

The Bank of Russia links the digitalization of the financial market to the development of platform business models and ecosystems and notes the growing role of major technology companies that integrate financial products and services into a unified customer journey [7]. This makes it possible to identify two interrelated trajectories in Russia: the development of specialized financial marketplaces and the integration of financial functions into broader banking and technology ecosystems.

A further infrastructure prerequisite is the development of Open Finance and Open APIs, which enable interorganizational exchange of financial data with customer consent [7; 8]. Russian practice is therefore expanding platform architecture beyond the traditional financial institution–customer relationship. The defining feature of this transformation is the redistribution of customer interaction functions while preserving a coherent customer experience.

Conclusion

The study yields four main conclusions.

First, financial services platformization is not equivalent to the digitalization of interaction channels. Its defining feature is the redistribution of customer interaction functions among the financial service provider, the digital platform, and other ecosystem participants.

Second, five models are identified: institution-centric, digital omnichannel, marketplace, ecosystem, and embedded finance. They differ in the allocation of customer interface management, offer discovery and matching, financial product design, data management, and customer journey coordination.

Third, Open Banking, Open Finance, and BaaS belong to the infrastructure mechanisms of platformization, whereas the identified models describe different ways of organizing interaction with the consumer.

Fourth, platformization does not eliminate financial intermediation but leads to its reintermediation through the redistribution of coordination functions between the financial service provider and the digital coordinator.

The scientific contribution lies in the proposed functional approach to distinguishing platformization models according to the actual allocation of customer interaction functions. Its practical value lies in the ability to compare digital business models independently of their formal labels and the technologies used. A promising direction for further research is an empirical assessment of how the redistribution of control over the customer interface and data affects consumer choice and the competitive positions of financial service providers.

References

1. Rochet J.-C., Tirole J. Platform Competition in Two-Sided Markets // Journal of the European Economic Association. 2003. Vol. 1, № 4. P. 990–1029. DOI: 10.1162/154247603322493212.

2. Croxson K., Frost J., Gambacorta L., Valletti T. Platform-based business models and financial inclusion. BIS Working Papers. 2022. № 986.

3. Doerr S., Frost J., Gambacorta L., Shreeti V. Big techs in finance. BIS Working Papers. 2023. № 1129.

4. He Z., Huang J., Zhou J. Open banking: Credit market competition when borrowers own the data // Journal of Financial Economics. 2023. Vol. 147, № 2. P. 449–474. DOI: 10.1016/j.jfineco.2022.12.003.

5. Stefanelli V., Manta F. Digital Financial Services and Open Banking Innovation: Are Banks Becoming 'Invisible'? // Global Business Review. 2023. OnlineFirst. DOI: 10.1177/09721509231151491.

6. Hendrikse R., Bassens D., Rossiter A. Rebooting Amsterdam for the age of Big Tech: Platform capitalism, reintermediation, and financial-center change // Geoforum. 2024. Vol. 148. Article 103894. DOI: 10.1016/j.geoforum.2023.103894.

7. Bank of Russia. Main Directions for the Development of the Financial Market of the Russian Federation for 2026 and for the Period of 2027 and 2028. Moscow: Bank of Russia, 2025. (In Russian).

8. Bank of Russia. Main Directions for Financial Technology Development for 2025–2027. Moscow: Bank of Russia, 2024. (In Russian).

9. Federal Law № 211-FZ of 20 July 2020 "On Financial Transactions Using a Financial Platform." (In Russian).

10. Abdullina I. A. Open API as a Driver of Innovation in Finance: Problems and Prospects // Finansovaya ekonomika [Financial Economics]. 2026. № 1. P. 3–5. (In Russian).

УДК 336.7:004.9

АРХИТЕКТУРА ЦИФРОВОГО ЗАКЯТА В РОССИЙСКОЙ ФИНТЕХ-ЭКОСИСТЕМЕ

Булатова Э.И., к.э.н., доцент кафедры финансовых рынков и финансовых институтов;
ORCID: 0000-0002-6523-7194;
E-mail: bulatovaei@yandex.ru;
Рафикова Л.В., магистрант Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: liliya150380@mail.ru

DIGITAL ZAKAT ARCHITECTURE IN THE RUSSIAN FINTECH ECOSYSTEM

Bulatova E.I., candidate of economic sciences, associate professor, Department of financial markets and financial institutions;
ORCID: 0000-0002-6523-7194;
E-mail: bulatovaei@yandex.ru;
Rafikova L.V., Master's student, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
E-mail: liliya150380@mail.ru

Аннотация

Цифровизация исламских социальных финансов расширяет возможности проведения дистанционных расчетов и институционального администрирования закята, при этом онлайн-платежи, мобильные приложения или QR-код сами по себе не образуют интегрированную цифровую систему управления. Цель исследования состоит в разработке концептуальной функциональной архитектуры цифрового закята с учетом институциональных и инфраструктурных особенностей российской финтех-экосистемы. Предметом исследования является институциональная модель сбора и распределения закята администрируемой организацией. Методическую основу составили анализ и систематизация научной литературы и материалов официальных источников, сравнительный анализ зарубежных моделей цифрового управления закятом, структурно-функциональный анализ и функциональная декомпозиция процессов его администрирования, а также анализ нормативно-правового регулирования соответствующих отношений в Российской Федерации. Установлено, что существующие цифровые решения преимущественно охватывают отдельные операции, либо опираются на конкретные технологии, что ограничивает их использование как универсальной архитектурной основы. Предложена технологически нейтральная концептуальная архитектура цифрового закята, включающая семь функциональных модулей, три сквозных логических контура и пять контрольных точек. Прослеживаемость распространяется на денежные средства, данные и документы, институциональные решения, а также происхождение и версия примененной шариатско-методической конфигурации. Разграничены системы шариатского управления, шариатский контроль, правовой комплаенс и операционно-финансовый контроль. Российская нормативно-правовая среда цифрового закята характеризуется как функционально распределенная. Показано, что автоматизация формализованных операций не устраняет институциональной ответственности за правовые и шариатски значимые решения, а прослеживаемость для целей контроля и аудита не тождественна публичному раскрытию информации. Предлагаемый подход, позволяет связать правила расчета и распределения с конкретными операциями, фиксировать версии, применяемые методики и разграничивать автоматизированные процедуры и решения уполномоченных субъектов. Архитектура может служить кон-

цептуальной основой проектирования цифровых систем управления закятом, охватывающих его сбор, учет, распределение и контроль. Практическая значимость состоит в возможности использовать предложенную модель при проектировании и сопоставлении цифровых систем институционального управления закятом.

Ключевые слова: закят, цифровой закят, исламские социальные финансы, финтех, цифровая архитектура, шариатское управление, шариатский контроль, платежная инфраструктура, цифровой рубль

Abstract

The digitalisation of Islamic social finance expands opportunities for remote payment transactions and the institutional administration of zakat. However, online payments, mobile applications, and QR codes do not in themselves constitute an integrated digital zakat management system. The purpose of this study is to develop a conceptual functional architecture for digital zakat that takes into account the institutional and infrastructural characteristics of the Russian fintech ecosystem. The subject of the study is an institutional model in which zakat collection and distribution are administered through a designated organisation. The research methodology combines the analysis and systematisation of academic literature and materials from official sources, comparative analysis of international digital zakat management models, structural and functional analysis and functional decomposition of zakat administration processes, as well as analysis of the regulatory framework governing the relevant relations in the Russian Federation. The authors propose a conceptual architecture for digital zakat within the Russian fintech ecosystem. The architecture provides for the control and traceability of several interrelated objects, including monetary funds, personal data, supporting documentation and institutional decisions, as well as the origin and version of the Shariah-methodological configuration applied. The study distinguishes between the Shariah governance system, Shariah control, legal compliance, and operational and financial control. The regulatory environment applicable to digital zakat is characterised as functionally distributed. The findings demonstrate that the automation of standardised operations does not eliminate institutional responsibility for decisions involving legal or Shariah considerations. The proposed architecture can serve as a conceptual basis for designing digital zakat management systems covering zakat collection, accounting, distribution, and control.

Keywords: zakat, digital zakat, Islamic social finance, fintech, digital architecture, Shariah governance, Shariah control, payment infrastructure, digital ruble

Введение

Раннее авторы рассматривали цифровизацию закята как переход от отдельных цифровых каналов к формированию цифровой социальной финансовой экосистемы [1]. Настоящее исследование развивает данный подход на уровне функциональной организации цифрового управления закятом.

Архитектурный подход к цифровому управлению закятом уже представлен в исследованиях информационных систем организаций, управляющих закятом [2], моделей на основе смарт-контрактов [3], многостадийные схемы цифрового перемещения и контроля средств [4], систематических обзорах [5], а также в работах об институциональной готовности систем и особенностей исламского управления [6], верификации права заявителя на получение закята [7] и разграничении движения денежных средств и цифрового транзакционного следа [8]. Вместе с тем недостаточно разработана технологически нейтральная архитектура, объединяющая жизненный цикл закята, денежные и информационные потоки, шариатско-методические нормы и правила, институциональные решения и контрольные процедуры.

Под российской финтех-экосистемой понимается институционально-технологическая среда взаимодействия организаций, администрирующих закят, финансовой и платежной инфраструктуры, цифровых сервисов обработки и обмена данными, а также субъектов право-

вого, операционно-финансового и шариатского контроля. Цель исследования состоит в разработке технологически нейтральной архитектуры цифрового управления закятом с учетом особенностей российской финтех-экосистемы. Гипотеза исследования состоит в том, что дальнейшая цифровизация закята требует перехода от расширения отдельных дистанционных каналов уплаты к интеграции основных функций жизненного цикла при сохранении разграничения движения денежных средств, информационных процессов и управленческих решений.

Методика исследования

Методическую основу исследования составили анализ и систематизация научной литературы и материалы официальных источников, сравнительный анализ зарубежных моделей цифрового управления закятом, структурно-функциональный анализ и функциональная декомпозиция процессов его администрирования, а также анализ нормативно-правового регулирования соответствующих отношений в Российской Федерации. Рассматривается модель, при которой сбор и распределение закята осуществляется через администрирующую организацию; прямые выплаты от плательщика получателю не анализируются.

Функциональный модуль выделялся при наличии самостоятельной задачи, конкретного результата и ответственного участника, а контрольная точка – как условия перехода процесса к следующему состоянию. В архитектуре разграничены контур движения денежных средств, информационный контур и контур контроля и институциональных решений. Последовательность модулей отражает логическую зависимость функций применительно к конкретному циклу распределения, но не означает обязательной календарной последовательности выполнения всех процессов.

Шариатские положения, определяющие содержание и порядок исполнения закята, принимаются как исходные нормативные основания. Профессиональными ориентиромы выступает Zakat Core Principles и Шариатский стандарт Accounting and Auditing Organization for Islamic Financial Institutions (AAOIFI) № 35 «Zakat» [9; 10]. Система шариатского управления рассматривается как совокупность компетенций, процедур принятия решений, контроля и аудита, тогда как шариатский контроль является одной из его функций.

1. Переход от цифровизации отдельных операций к функциональной архитектуре

Термин «цифровой закят» используется как научная категория и не обозначает самостоятельный правовой институт. Цифровой платеж обеспечивает дистанционное инициирование и фиксацию операции по переводу денежных средств. Цифровое администрирование предполагает применение информационных технологий к отдельным элементам процесса, а именно расчет, учет, обработка заявлений, распределение и составление отчетности.

Под концептуальной функциональной архитектурой цифрового закята понимается система взаимодействия плательщика закята (музакки), администрирующей организации, платежной инфраструктуры, заявителей, получателей средств и субъектов контроля. Такая архитектура объединяет основные процессы управления закятом: установление шариатско-методических правил; расчет или фиксацию суммы; прием и учет средств; верификацию права заявителя на получение закята; распределение и выплаты средств; формирование аудиторского следа; составление отчетности; осуществление обратной связи.

Развитие цифрового управления закятом представляет переход от цифровизации отдельных операций к цифровому администрированию и далее – к функциональной интеграции жизненного цикла закята. Поэтому уровень цифровой зрелости определяется не количеством применяемых технологий, а связанностью процессов. Проектирование архитектуры предлагается осуществлять последовательными этапами: определение функций, объектов, полномочий, границ контроля и выбора технологий.

2. Российская нормативно-правовая и платежная среда цифрового закята

В российском законодательстве не установлен специальный правовой режим, непосредственно регулирующий цифровой закят как самостоятельный вид финансовой либо благотворительной деятельности. Вместе с тем, отношения, возникающие при его сборе, учете,

переводе и распределении, регулируются нормами различных отраслей законодательства в зависимости от характера операций и правового статуса их участников.

Федеральный закон от 11 августа 1995 г. № 135-ФЗ относит к целям благотворительной деятельности социальную поддержку и защиту граждан, включая улучшение материального положения малообеспеченных [11]. При этом нормы законодательства о благотворительности определяют правовые условия деятельности соответствующих организаций, но не устанавливает шариатское содержание закята, имеющего самостоятельную религиозно-нормативную природу.

Отношения, связанные с оказанием платежных услуг и переводом денежных средств, регулируются Федеральным законом от 27 июня 2011 № 161-ФЗ «О национальной платежной системе» [12]. Предлагаемая архитектура сохраняет технологическую нейтральность по отношению к конкретному механизму перевода, так как платежная инфраструктура используется как при поступлении средств от плательщика, так и при выплате средств получателю, при этом применяемые на данных стадиях способы перевода могут различаться.

Для информационного контура ключевое значение имеет Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 153-ФЗ «О персональных данных» [13]. Обрабатываемые данные должны соответствовать целям обработки и не должны быть избыточными; сведения о религиозных убеждениях и состоянии здоровья относятся к специальным категориям персональных данных и требуют предусмотренного законом правового основания. В связи с этим прослеживаемость не должна отождествляться с публичным раскрытием информации. Детализированный аудиторский след может быть доступен уполномоченным субъектам контроля, тогда как внешняя отчетность должна учитывать режим доступа к данным, требования к защите информации и возможность использования агрегированных и обезличенных данных.

Перспективным элементом платежной инфраструктуры является цифровой рубль. Российским законодательством предусмотренно поэтапное расширение доступа к операциям с цифровыми рублями начиная с 1 сентября 2026 г. [14]. Цифровой рубль в перспективе может применяться для закята как один из механизмов перевода денежных средств при наличии соответствующих организационных, технологических и правовых условий. Это характеризует потенциальную совместимость предлагаемой архитектуры с развитием платежной инфраструктуры и не означает наличия специальной практики использования цифрового рубля для закята.

Российскую нормативно-правовую среду цифрового закята предлагается характеризовать как функционально распределенную. Требования к организационной деятельности, платежам, процедуре обработке персональных данных и информационной безопасности имеют государственно-правовую природу, тогда как правила расчета и шариатски допустимого распределения закята формируются в иной нормативной среде. Российское регулирование выступает внешней нормативной средой архитектуры, а информационная безопасность рассматривается как сквозное условие функционирования системы.

3. Концептуальная функциональная архитектура цифрового закята

Предлагаемая архитектура включает семь функциональных модулей, три сквозных логических контура и пять контрольных точек перехода между состояниями процесса (табл. 1).

Исходным элементом архитектуры является шариатско-методическая конфигурация – утвержденная совокупность правил и параметров расчета и распределения закята. Для каждой версии фиксируется период действия, субъект утверждения и применяемые параметры с сохранением связи операции с использованной конфигурацией.

Модуль 2 предусматривает автоматизированный расчет, либо фиксацию суммы, определенной плательщиком вне системы, во втором случае система не подтверждает автоматически шариатскую корректность внешнего расчета. G1 фиксирует источник, суммы и применяемую версию методики расчета, G2 – идентифицирует платеж и его корректное отражение в раздельном учете. Разграничение средств закята и иных благотворительных поступлений соответствует положениям Zakat Core Principles о внутреннем контроле [9].

Таблица 1

Функциональные модули архитектуры цифрового закята

Модуль	Основная функция	Контрольная точка
1. Шариатско-методическая конфигурация	Фиксация методики, параметров расчета и распределения, субъекта и версии	G1 – версия методики / источник суммы зафиксирован / результат верифицирован
2. Расчет и фиксация суммы закята	Расчет по действующей конфигурации или фиксация заявленной плательщиком суммы и источника ее определения	
3. Прием и атрибуция платежа	Проведение и идентификация платежа, установление назначения поступления	G2 – платеж атрибутирован / раздельный учет подтвержден
4. Раздельный учет и администрирование средств	Классификация поступлений и разграничение средств закята и иных поступлений	
5. Верификация права заявителя на получение закята	Сбор и проверка сведений по утвержденным критериям	G3 – право заявителя подтверждено по утвержденным критериям, либо случай эскалирован
6. Распределение и выплата	Формирование и документирование решения, исполнение выплаты	G4 – решение сформировано в пределах полномочий, документировано / выплата разрешена
7. Отчетность, аудиторский след и обратная связь	Сверка исполнения, фиксация результата, сохранение данных для последующего контроля и формирование отчетности	G5 – исполнение сверено / кейс операционно закрыт / след сохранен для последующего аудита

G3 подтверждает право заявителя на получение закята, при недостаточности формализованных критериев для принятия однозначного решения, то решение принимает компетентный уполномоченный сотрудник в индивидуальном порядке. Сама передача на дополнительное рассмотрение не означает положительного прохождения контрольной точки. Такой подход соответствует современной трактовке верификации, как элемента институциональной ответственности и шариатского контроля [7].

В модуле 6 разграничиваются формирование решения о распределении и его исполнение. Между ними располагается точка контроля G4, подтверждающая, что решение принято уполномоченным сотрудником, документировано и допущено к выплате. Модуль 7 обеспечивает сверку исполнения, формирование отчетности и сохранение аудиторского следа. G5 означает операционное завершение конкретного цикла, но не исключает последующего внутреннего, внешнего или шариатского аудита на основании сохраненных данных.

Основной результат исследования представлен на рис. 1.

Семь модулей объединены тремя сквозными логическими контурами. Контур движения денежных средств охватывает поступление, учет, распределение и выплату средств и преимущественно охватывает модули 3, 4 и 6. Информационный контур проходит через все семь модулей и включает данные, документы, идентификаторы операций, версии методик, результаты проверок и отчетную информацию. Контур контроля и институциональных решений реализуется в первых пяти модулях и включает результаты проверок, разрешения переходов между состояниями процесса, решения по исключениям и фиксацию ответственности. Выделение последнего контура имеет логический, а не технический характер. Контрольные ре-

шения фиксируются также, как и информация, но отличаются разрешительным эффектом. Система шариатского управления находится по отношению к жизненному циклу на надпроцессном уровне и не образует самостоятельного процессного контура.

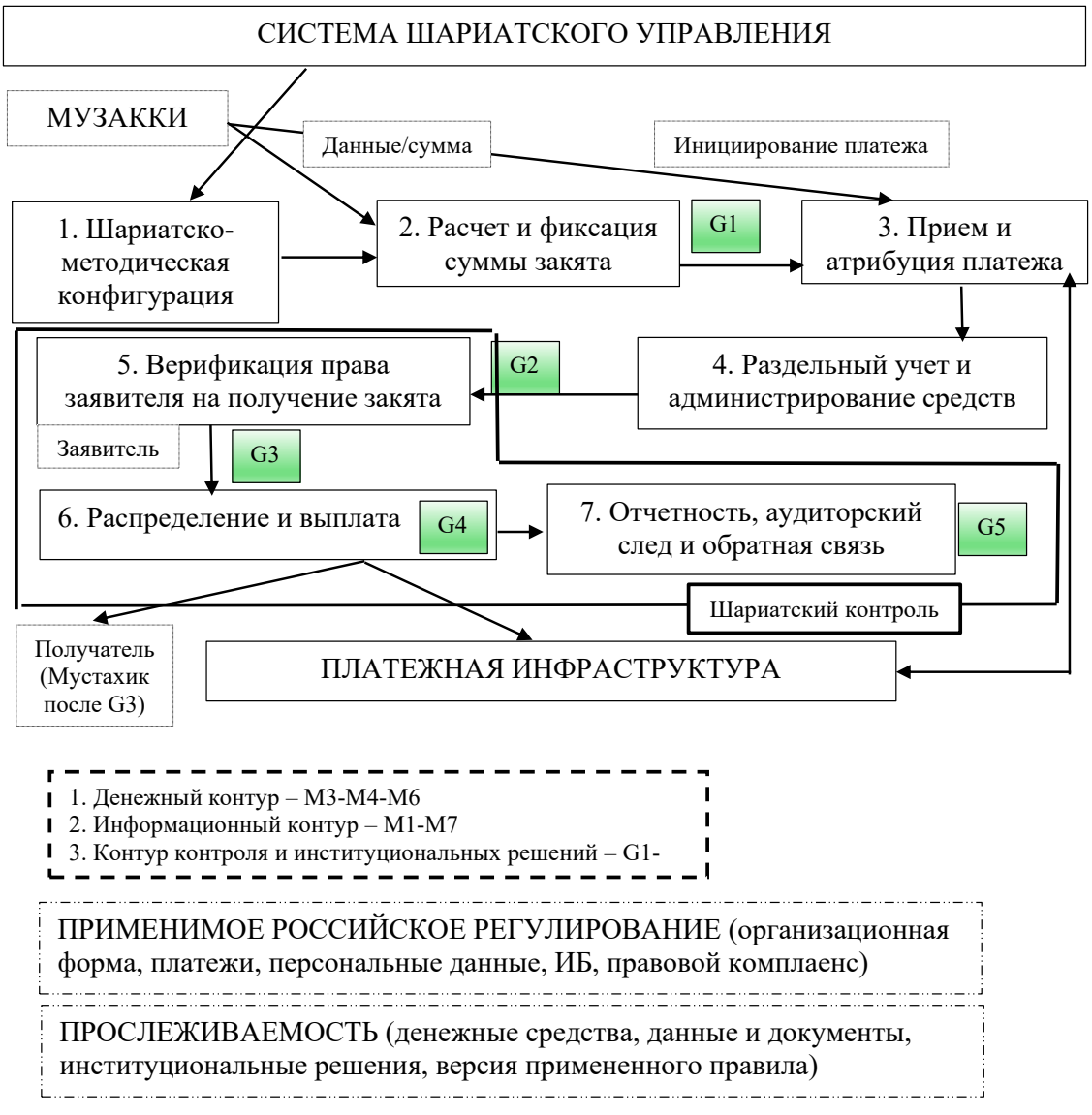


Рис. 1 Концептуальная архитектура цифрового закята в российской финтех-экосистеме

Источник: составлено автором

4. Прослеживаемость и границы автоматизации

Под прослеживаемостью цифрового закята понимается возможность восстановления движения денежных средств, изменения данных и документов, основания институционального решения, а также происхождение и версию примененной шариатско-методической конфигурации. Тем самым она охватывает четыре объекта: денежные средства, данные и документы, институциональные решения и примененные правила.

Включение шариатско-методической конфигурации в аудиторский след позволяет установить использованное правило, его версию и субъект утверждения. Поэтому прослеживаемость является свойством системы управления, а не конкретной технологии хранения данных. Технология распределенного реестра может обеспечивать фиксацию отдельных событий и транзакций, однако не заменяет раздельного учета, разграничения полномочий, управления доступом и документирования оснований решений [8].

Прослеживаемость не тождественна публичной прозрачности. Полный аудиторский след может быть доступен только уполномоченным субъектам контроля, а внешняя отчетность должна формироваться с учетом требований к обработке и раскрытию персональных данных [13].

В архитектуре разграничиваются правовой комплаенс, операционный, финансовый и шариатский контроль. Эти механизмы взаимосвязаны, но не взаимозаменяемы. Отсюда следует принцип разграничения автоматизированной процедуры и институционально ответственного решения. Цифровая система может выполнять формализованные расчеты, проверку условий, сопоставление данных, классификацию операций и формирование риск-индикаторов. Однако установление и изменение шариатско-методической конфигурации, разрешение неоднозначных ситуаций и иные решения, требующие правовой и шариатской экспертизы, должны сохранять идентифицируемого субъекта ответственности. Таким образом, цифровизация повышает степень контроля и качество аудиторского следа, но не устраняет институциональную ответственность.

Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. Цифровой платеж является одним из элементов цифровизации закята. Интегрированная модель предполагает функциональную связанность основных процессов жизненного цикла закята.

2. Разработана технологически нейтральная концептуальная архитектура цифрового управления закятом, объединяющая семь функциональных модулей, три сквозных логических контура и пять контрольных точек. Научный вклад определяется способом системной организации отдельных функций.

3. Прослеживаемость расширена до четырех взаимосвязанных объектов: денежные средства, данные и документы, институциональные решения, а также происхождения и версии используемой шариатско-методической конфигурации.

4. Обоснован принцип разграничения автоматизированных процедур и институциональных решений.

5. Российскую нормативно-правовую среду цифрового закята предложено характеризовать как функционально распределенную. Требования российского законодательства образуют внешнюю нормативную среду архитектуры и должны согласовываться с операционно-финансовым контролем и системой шариатского управления.

Предлагаемая архитектура носит концептуальный и технологически нейтральный характер. Цифровой рубль может в перспективе применяться для уплаты закята как один из механизмов перевода денежных средств при наличии соответствующих организационных, технологических и правовых условий. Перспективным направлением дальнейшего исследования является разработка измеримых показателей цифровой зрелости систем управления закятом и их апробация на российских и зарубежных практиках.

Список литературы

1. Рафикова, Л. В. Цифровизация закята: от традиционных институтов к цифровой социальной финансовой экосистеме / Л. В. Рафикова, Э. И. Булатова // Финансово-экономические исследования: актуальные вопросы теории и практики: тезисы докладов II Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции молодых ученых. Донецк: ДонГУ, 2026. – С. 437–439.

2. Setiawan R., Nashrullah M.R., Mulyani A., Mubarok M.S. Architecture Information System for Zakat, Infaq and Sadaqah Management Institutions // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1402. Art. 022082. DOI: 10.1088/1742-6596/1402/2/022082.

3. Ismail N. L., Ismail Z., Musa O., Loy C. K. Malaysia Zakat Smart Contract Architectural Framework Design // International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences.

2023. Vol. 13, № 5. P. 2653–2678. DOI: 10.6007/IJARBSS/v13-i5/16991. Издательский PDF указывает страницы 2653–2678.

4. Bahaaudeen A. Governance in the Digital Era: The Role of Blockchain Technology in Enhancing Accountability // Journal of Cultural Analysis and Social Change. 2025. Vol. 10, No. 2. P. 770–781. DOI: 10.64753/jcasc.v10i2.1680.

5. Mustaffa N. M., Wan Jusoh W. N. H., Lateh N., Ahmad S., Ahmad M. H. S., Adnan A. A. Framework Construct on Zakat Studies for Institutional Development: A Systematic Literature Review // Journal of Islamic Marketing. 2026. Vol. 17, № 4. P. 1491–1517. DOI: 10.1108/JIMA-06-2024-0232.

6. Nazeri A. N. N., Mohd Nor S., Abdul-Rahman A., Ali M. H. Blockchain Technology in Zakat Management System: Potential and Challenges in Malaysia // Journal of Islamic Accounting and Business Research. 2026. Advance online publication. DOI: 10.1108/JIABR-10-2024-0435.

7. Azhar A., Jalaluddin, Anshary A. H. AZ, Hanafiah M., Badarulzaman M. H. Reconstructing Mustahiq Verification in Zakat Governance: 'Amil Accountability, Shariah Compliance, and Distributive Justice // Syariah: Jurnal Hukum dan Pemikiran. 2026. Vol. 26, № 1. DOI: 10.18592/sjhp.v26i1.20602.

8. Rachman S. N., Faizi, Jumbri I. A. Integrating Blockchain Technology into Zakat Operational Systems: A Framework for Sharia-Compliant Transparency // Ulul Albab: Jurnal Studi dan Penelitian Hukum Islam. 2026. Vol. 9, № 2. P. 248–264. DOI: 10.30659/jua.v9i2.51829.

9. Bank Indonesia; Badan Amil Zakat Nasional. Zakat Core Principles Consultative Document: Core Principles for Effective Zakat Supervision. May 2016.

10. Accounting and Auditing Organization for Islamic Financial Institutions (AAOIFI). Shari'ah Standard No. (35): Zakah. Manama: AAOIFI.

11. О благотворительной деятельности и добровольчестве (волонтерстве): Федеральный закон от 11.08.1995 № 135-ФЗ (ред. от 04.08.2026).

12. О национальной платежной системе: Федеральный закон от 27.06.2011 № 161-ФЗ (ред. 2026 г.).

13. О персональных данных: Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 26.07.2026).

14. Банк России. Цифровой рубль: официальный информационный раздел. 2026.

УДК 336.14:004

ПРИМЕНЕНИЕ СМАРТ-КОНТРАКТОВ НА ПЛАТФОРМЕ ЦИФРОВОГО РУБЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЮДЖЕТНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Мухаметшина Д.Р., студент;
ORCID: 0009-0004-2741-7612;
Смирнова Г.С., к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-8880-4473

APPLICATION OF SMART CONTRACTS ON THE DIGITAL RUBLE PLATFORM TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF BUDGET FINANCING OF STATE INSTITUTIONS

Mukhametshina D.R., student;
ORCID: 0009-0004-2741-7612;
Smirnova G.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-8880-4473

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы контроля за расходованием бюджетных средств в государственных учреждениях. Традиционный финансовый контроль часто работает с опозданием, выявляя нарушения уже после того, как деньги потрачены и их трудно вернуть. В статье предлагается простой выход – внедрить умные алгоритмы, то есть смарт-контракты, на новой платформе цифрового рубля. Это позволит заложить правила и условия проверок прямо в процесс перевода денег, чтобы система автоматически блокировала любые нецелевые платежи. Такой подход снижает влияние человеческого фактора, помогает бороться с задержками сроков со стороны подрядчиков и фальсификацией отчетности. В результате государственные финансы переходят на программируемые деньги, что меняет саму логику мониторинга: нарушения не просто ищут постфактум, а предотвращают на техническом уровне.

Ключевые слова: цифровой рубль, смарт-контракт, бюджетное финансирование, государственные учреждения, казначейское сопровождение, программируемые деньги, бюджетные нарушения, превентивный контроль

Abstract

The article examines the problems of monitoring the expenditure of budget funds in government institutions. Traditional financial control often operates with a delay, identifying violations only after the money has been spent and it is difficult to recover it. The article proposes a simple solution – to implement smart algorithms, i. e. smart contracts, on a new digital ruble platform. This will make it possible to embed the rules and conditions for checks directly into the money transfer process, so that the system automatically blocks any non-targeted payments. This approach reduces the impact of the human factor, helps to combat delays in deadlines on the part of contractors, and prevents the falsification of reporting. As a result, public finances are transitioning to programmable money, which changes the very logic of monitoring: violations are not just identified after the fact, but are prevented at the technical level.

Keywords: digital ruble, smart contract, budget financing, state institutions, treasury support, programmable money, budget violations, preventive control

Введение

Система финансирования государственных учреждений в Российской Федерации на протяжении длительного времени сталкивается с комплексом проблем, обусловленных как организационными, так и технологическими факторами. Средства, выделяемые в форме субсидий на выполнение государственного задания или целевых грантов, проходят многоступенчатую цепочку согласований, что неизбежно порождает временные задержки между фактическим выполнением работ и их оплатой [1, с. 47].

Особую остроту проблеме придаёт человеческий фактор, присутствующий на каждом этапе управления бюджетными расходами. Несмотря на повсеместное внедрение электронного документооборота, ключевые решения о проведении платежей по-прежнему принимаются должностными лицами, что создаёт предпосылки для злоупотреблений и ошибок. Данные Счётной палаты свидетельствуют о многочисленных случаях нарушений в расходовании бюджетных средств [2]. Существующие механизмы последующего контроля выявляют эти нарушения уже после того, как средства покинули бюджетный контур, и их возврат требует длительных судебных процедур.

Ситуация существенно меняется с вступлением в силу с 1 августа 2023 г. и последующим развитием законодательных норм, закрепляющих правовой статус цифрового рубля [3]. Данная форма национальной валюты, в отличие от традиционных безналичных денег, позволяет наделять средства свойством программируемости – возможностью задавать алгоритмы их использования на уровне самой транзакции [4, с. 114].

Цель данной статьи – на основе анализа типовых нарушений бюджетного процесса предложить модель применения смарт-контрактов на платформе цифрового рубля, позволяющую автоматически предотвращать наиболее распространённые ошибки и злоупотребления.

1. Цифровой рубль и смарт-контракты как инструмент трансформации бюджетных платежей

Ключевым фактором, открывающим возможность для пересмотра сложившихся механизмов бюджетного финансирования, становится появление цифрового рубля – третьей формы национальной валюты, эмитируемой Банком России. Как отмечается в исследованиях последних лет, цифровой рубль позволяет принципиально по-новому организовать казначейское сопровождение государственных контрактов благодаря встроенной программируемости [5, с. 54]. С 1 августа 2023 г. его правовой статус закреплён на законодательном уровне [3], что выводит данную технологию из разряда экспериментальных в разряд полноценных платёжных инструментов.

Важно понимать принципиальное отличие цифрового рубля от привычных безналичных средств. Цифровые рубли эквивалентны наличным и безналичным рублям, однако безналичные деньги движутся по счетам на основании распоряжений их владельца – бухгалтер подписывает платёжное поручение, и банк его исполняет. Никаких встроенных ограничений или условий система не проверяет: если реквизиты верны и средств достаточно, платёж проходит. Именно эта «слепота» системы и создаёт почву для злоупотреблений. Цифровой рубль, напротив, благодаря своей архитектуре позволяет встраивать правила использования прямо в денежную единицу [4, с. 115]. Средства можно «запрограммировать» так, что они станут доступны для перевода только при наступлении заранее определённых событий [6].

Инструментом, реализующим эту программируемость, выступает смарт-контракт – программный алгоритм, который автоматически отслеживает выполнение условий и проводит платёж без участия человека. В научной литературе смарт-контракт определяется как «компьютеризированный протокол транзакций, который выполняет условия контракта» [6]. Говоря проще, смарт-контракт – это цифровой «робот-контролёр», который сам проверяет, загружены ли документы, соблюдены ли сроки, совпадают ли суммы, и только после этого разблокирует средства.

Именно это свойство – автоматическая, неотвратимая проверка условий – делает смарт-контракты крайне перспективными для бюджетной сферы. В традиционной системе ответственность за проверку лежит на должностных лицах, что неизбежно вносит человеческий фактор: усталость, невнимательность, а в худшем случае – прямой умысел. Смарт-контракт этих недостатков лишён: он действует строго по заложенному в него алгоритму и не может быть обойдён или скорректирован в ручном режиме [1, с. 48].

В основу практической части настоящего исследования положен анализ открытых данных контрольных органов, прежде всего Счётной палаты Российской Федерации, а также экспертных публикаций по вопросам цифровизации государственных финансов [4, с. 115; 3, с. 48]. Систематизация выявленных нарушений позволила выделить наиболее частотные сценарии злоупотреблений и предложить для каждого из них конкретный механизм блокировки с помощью смарт-контракта. Такой подход – от проблемы к решению, а не от технологии к её описанию – позволяет сделать исследование прикладным и практически ориентированным.

2. Модель «Программируемое финансирование» и анализ рисков

2.1. Алгоритм работы модели

Предлагаемая модель строится на принципе синхронизации юридической сделки и денежного потока. В качестве примера рассмотрим выделение целевой субсидии государственному учреждению на проведение ремонтных работ или закупку оборудования.

Алгоритм работы модели включает следующие шаги:

1. Учреждение подаёт заявку на выделение целевого финансирования через ГИС «Электронный бюджет».

2. Казначейство зачисляет средства в цифровых рублях на счёт учреждения. Одновременно инициализируется смарт-контракт, в котором зафиксированы: срок исполнения, перечень обязательных документов, сумма и целевое назначение.

3. Деньги блокируются на платформе цифрового рубля – учреждение видит их на своём балансе, но не может потратить иначе как через предусмотренный смарт-контрактом сценарий.

4. Подрядчик выполняет работы, стороны подписывают закрывающие документы и загружают их в систему.

5. Смарт-контракт автоматически проверяет:

– наличие всех необходимых файлов;

– соответствие электронных подписей уполномоченным лицам;

– соблюдение установленных сроков;

– соответствие сумм и номенклатуры реестру контрактов.

6. При выполнении всех условий смарт-контракт мгновенно переводит средства подрядчику. При нарушении деньги автоматически возвращаются в бюджет.

В отличие от традиционной системы, где контроль осуществляется постфактум и часто обнаруживает нарушения уже после списания средств, предложенная модель закладывает правила исполнения непосредственно в программный код платежа [7, с. 1106].

2.2. Типовые нарушения и механизмы их блокировки

Для обоснования эффективности предлагаемого подхода была проведена систематизация наиболее распространённых нарушений в сфере бюджетного финансирования. В табл. 1 представлена классификация типовых ошибок и злоупотреблений, а также показано, каким образом смарт-контракт предотвращает каждый из сценариев.

Таблица 1

Анализ типовых нарушений и способы их блокировки смарт-контрактом

№	Тип нарушения в традиционной системе	Как оно возникает (человеческий фактор)	Как смарт-контракт предотвращает
1	Срыв сроков поставки	Подрядчик задерживает работы, однако акт выполненных работ подписывается «задним числом»	Жесткая привязка к календарю. При превышении срока средства автоматически возвращаются в бюджет
2	Нецелевое использование субсидии	Средства расходуются на нецелевые статьи, в отчетности подменяются коды	Цифровые рубли «окрашиваются» кодом целевой статьи. Перевод на иные коды блокируется [5, с. 55]
3	Завышение объёмов выполненных работ	В акты включаются несуществующие позиции или завышаются объёмы	Автоматическая сверка сумм и перечня работ с утвержденной сметой. Расхождения блокируют транзакцию
4	Подписание актов неуполномоченным лицом	Используется поддельная электронная подпись или документы подписываются сотрудником без соответствующих полномочий	Проверка электронной подписи осуществляется автоматически, с верификацией по реестру доверенных лиц. Смарт-контракт не принимает документы от неуполномоченных субъектов

Окончание табл. 1

№	Тип нарушения в традиционной системе	Как оно возникает (человеческий фактор)	Как смарт-контракт предотвращает
5	Задержка предоставления отчётности	Бухгалтер учреждения несвоевременно подаёт закрывающие документы, в результате чего деньги «зависают» на счетах	Смарт-контракт содержит встроенный таймер. При отсутствии документов в установленный срок формируется уведомление, а по истечении периода блокировки средства возвращаются в бюджет
6	Подмена контрагента	Денежные средства перечисляются на счёт фирмы-однодневки, не являющейся стороной по контракту	Смарт-контракт хранит реквизиты сторон, зафиксированные в реестре контрактов. Перечисление возможно только на заранее верифицированный счёт поставщика

Проведённая систематизация показывает, что традиционная модель контроля выявляет нарушения уже постфактум, когда возврат средств сопряжён с судебными издержками и временными потерями. Предлагаемый подход переносит контроль на этап, предшествующий транзакции, что позволяет исключить сами причины нарушений [1, с. 49].

Для наглядного сравнения в таблице 2 приведены ключевые параметры функционирования двух систем.

Таблица 2

Сравнительная характеристика моделей финансирования

№	Критерий сравнения	Традиционная система	Система со смарт-контрактом
1	Контроль	Постфактум (нарушения фиксируют после оплаты)	Превентивный (платёж блокируется до выполнения условий)
2	Роль человеческого фактора	Высокая – решения принимают должностные лица; возможны ошибки, задержки, злоупотребления	Минимальная – решение принимает программный код на основе заложенных правил
3	Скорость	3–10 рабочих дней	От нескольких секунд до 1 рабочего дня (автоматическая обработка, сокращение межбанковских задержек)
4	Надёжность	Зависит от человеческого фактора (ошибки, злоупотребления)	Обеспечена программным кодом (неотвратимость исполнения)
5	Целевое расходование	Контролируется отчётностью (можно обойти)	Заложено в алгоритм (технически исключено)

Приведённое сравнение показывает, что переход на модель со смарт-контрактами меняет саму логику бюджетного процесса: от проверок «по факту» – к встроенному контролю,

от бумажных отчётов – к программным проверкам, от доверия к должностным лицам – к доверию к алгоритму. Ключевое отличие заключается не в скорости или удобстве, а в неотвратимости исполнения условий: в отличие от человека, смарт-контракт не может «не заметить» нарушение или закрыть на него глаза.

Заключение

Основная проблема современной системы контроля в бюджетной сфере заключается в ее ретроспективном характере, когда правонарушения выявляются после фактического списания денежных средств со счетов. Это приводит к нецелевому и неэффективному использованию бюджетных ассигнований, срыву сроков государственных контрактов и затяжным судебным разбирательствам. Предложенная в статье модель «Программируемое финансирование» позволяет принципиально изменить данный подход, смещая вектор контроля на превентивный этап.

Смарт-контракт осуществляет автоматическую верификацию условий сделки до момента фактического перевода, исключая необходимость последующего трудоемкого анализа бумажного документооборота. Технология лишает процесс распределения финансов субъективного влияния человеческого фактора, предотвращая риски несанкционированного изменения условий или работы с недобросовестными контрагентами.

Применение цифрового рубля как базовой платформы для программируемых денег обеспечивает полную прозрачность и целевое доведение средств по заданному алгоритму. Несмотря на существующие правовые и институциональные барьеры, международный и отечественный опыт доказывает неизбежность перехода к алгоритмическим методам контроля. Развитие цифровой инфраструктуры Банка России делает предложенную модель практически реализуемой и перспективной для модернизации всей системы государственных финансов.

Список литературы

1. Петров, А. В. Смарт-контракты в системе государственного финансового контроля / А. В. Петров // Финансовый журнал. – 2025. – № 3. – С. 45–52.

2. Nikitin, D. Can Retail Central Bank Digital Currencies Improve the Delivery of Social Safety Nets? / D. Nikitin, J. Schmalholz, C. Bloch // IMF Working Papers. – 2025. – № 25, № 211.

3. Федеральный закон от 24.07.2023 № 340-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_452645/ (дата обращения: 29.08.2026).

4. Иванова, М. К. Цифровой рубль: новые горизонты казначейского сопровождения / М. К. Иванова // Экономика и управление. – 2026. – Т. 10, № 2. – С. 112–118.

5. Ермилова, С. Т. Цифровой рубль как инструмент повышения прозрачности казначейского сопровождения государственных контрактов / С. Т. Ермилова // Аудиторские ведомости. – 2025. – № 4. – С. 53–57.

6. Bank, for International Settlements Central bank digital currencies: ongoing policy perspectives and programmable money application / for International Settlements Bank. – Текст : электронный // BIS Quarterly Review : [сайт]. – URL: bis.org (дата обращения: 29.08.2026).

7. Ali, A. Government Budget Tracking and Fraud Prevention Using Blockchain Infrastructure / A. Ali, R. Kumar // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 1104–1115.

8. Центральный банк Российской Федерации. Цифровой рубль – официальная страница. – URL: https://cbr.ru/PSystem/dr/ (дата обращения: 14.08.2026).

УДК 336.71:004.9

РЕИНЖИНИРИНГ ФИНАНСОВЫХ ПРОЦЕССОВ СУБЪЕКТОВ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЭКОСИСТЕМ ОТКРЫТОГО БАНКИНГА (OPEN API)

Сагитова Ю.Р., магистрант кафедры прикладной информатики;
ORCID: 0009-0007-7537-5930;
E-mail: s.ylia30@mail.ru;
Егоров А.С., магистрант кафедры прикладной информатики;
ORCID: 0009-0007-2938-7797;
E-mail: wolfmouth2013@gmail.com;
Ишмурадова И.И., доцент, к.н., заведующий кафедрой Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны, Россия;
ORCID: 0000-0001-6307-8292;
E-mail: izida-89@mail.ru

REENGINEERING OF FINANCIAL PROCESSES OF SMALL BUSINESS ENTITIES IN THE CONDITIONS OF THE DEVELOPMENT OF OPEN BANKING ECOSYSTEMS (OPEN API)

Sagitova Ju.R., Master student of the Department of Applied Informatics;
ORCID: 0009-0007-7537-5930;
E-mail: s.ylia30@mail.ru;
Egorov A.S., Master student of the Department of Applied Informatic;
ORCID: 0009-0007-2938-7797;
E-mail: wolfmouth2013@gmail.com;
Ishmuradova I.I., Associate Professor, Ph.D., Head of the Department at Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan Federal University; Naberezhnye Chelny, Russia;
ORCID: 0000-0001-6307-8292;
E-mail: izida-89@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются актуальные вопросы трансформации финансового управления в сегменте малого и среднего предпринимательства под влиянием технологий открытого банкинга. Основное внимание уделяется процессу реинжиниринга традиционных казначейских и бухгалтерских функций, которые в современных условиях характеризуются высокой долей ручного труда и операционными рисками. Автор анализирует технологическую основу перехода от закрытых банковских интерфейсов к открытым протоколам взаимодействия Open API, которые позволяют интегрировать финансовые услуги непосредственно в учетные системы предприятий. В работе исследуется текущее состояние интеграции банковских сервисов с ERP и CRM-системами, а также выявляются ключевые барьеры, препятствующие масштабному внедрению автоматизированных финансовых процессов. Методологическую базу исследования составляет системный подход и методы моделирования бизнес-процессов, позволяющие сопоставить эффективность моделей функционирования финансовой службы до и после внедрения интеграционных решений. В основной части статьи описывается концептуальная модель реинжиниринга, основанная на автоматизации обмена данными, мгновенном проведении платежей и упрощении процедур финансового мониторинга. Результаты исследования показывают, что использование открытых API способству-

ет значительному сокращению временных затрат на проведение транзакций, минимизации ошибок человеческого фактора и повышению прозрачности денежных потоков. Также рассматриваются перспективы использования аналитических данных, получаемых через API, для оперативной оценки кредитоспособности бизнеса. В заключении формулируются выводы о необходимости стандартизации протоколов обмена данными на государственном уровне для обеспечения безопасности и интероперабельности финтех-экосистем. Статья представляет интерес для специалистов в области прикладной информатики, финансовых менеджеров и разработчиков банковских продуктов.

Ключевые слова: финтех, открытые API, малый бизнес, реинжиниринг бизнес-процессов, автоматизация финансов, цифровые платформы, банковские экосистемы, информационные технологии, финансовый менеджмент, электронные платежи

Abstract

This article examines current issues of financial management transformation in the small and medium enterprise segment under the influence of open banking technologies. The main focus is on the process of reengineering traditional treasury and accounting functions, which in modern conditions are characterized by a high share of manual labor and operational risks. The author analyzes the technological basis for the transition from closed banking interfaces to open Open API interaction protocols, which allow integrating financial services directly into the accounting systems of enterprises. The paper explores the current state of integration of banking services with ERP and CRM systems, and also identifies key barriers hindering the large-scale implementation of automated financial processes. The methodological basis of the study consists of a systematic approach and methods for modeling business processes, which allow comparing the effectiveness of the financial service functioning models before and after the implementation of integration solutions. The main part of the article describes a conceptual model of reengineering based on automation of data exchange, instant payments and simplification of financial monitoring procedures. The study results show that using open APIs contributes to a significant reduction in time spent on transactions, minimization of human factor errors and increased transparency of cash flows. The prospects for using analytical data obtained via API for rapid assessment of business creditworthiness are also considered. In conclusion, findings are formulated on the need to standardize data exchange protocols at the state level to ensure security and interoperability of fintech ecosystems. The article is of interest to specialists in the field of applied informatics, financial managers and banking product developers.

Keywords: fintech, open API, small business, business process reengineering, financial automation, digital platforms, banking ecosystems, information technology, financial management, electronic payments

1. Введение

В условиях стремительной трансформации глобального финансового рынка к 2026 г. концепция открытого банкинга (Open Banking) перешла из разряда инновационных трендов в категорию обязательных стандартов функционирования цифровой экономики. Переход к использованию открытых программных интерфейсов (Open API) радикально меняет архитектуру взаимодействия между банковскими институтами, финтех-компаниями и конечными потребителями финансовых услуг [2]. Особую актуальность данный вопрос приобретает для сегмента малого и среднего предпринимательства (МСП), который традиционно является наиболее чувствительным к операционным издержкам и скорости проведения финансовых операций [4].

Несмотря на высокий уровень проникновения цифровых технологий, многие субъекты малого бизнеса по-прежнему сталкиваются с проблемой «разрыва» между внутренними учетными процессами и банковской средой. Традиционная модель взаимодействия часто предполагает ручную выгрузку банковских выписок, повторный ввод платежных поручений в различных системах и задержки в получении актуальных данных о состоянии ликвидности.

Подобная дискретность процессов не только увеличивает риск ошибок, связанных с человеческим фактором, но и существенно замедляет принятие управленческих решений.

Реинжиниринг финансовых процессов на основе технологий Open API призван устранить эти барьеры, обеспечивая бесшовную интеграцию финансовых сервисов непосредственно в операционную среду предприятия. Это позволяет трансформировать финансовую службу из вспомогательного подразделения, занятого рутинной обработкой первичной документации, в стратегический узел управления данными [1]. Целью данного исследования является разработка концептуальных подходов к реинжинирингу ключевых финансовых бизнес-процессов малого предприятия с целью повышения их эффективности и прозрачности.

2. Методика исследования

Для достижения поставленной цели в работе был использован комплексный подход, сочетающий методы системного анализа, декомпозиции бизнес-процессов и сравнительного моделирования. Исследование базируется на изучении технологических стандартов взаимодействия финансовых организаций, утвержденных к 2026 году, а также на анализе существующих кейсов внедрения открытых API в секторе финтех [3].

Методологическую основу составили следующие этапы:

1. Анализ текущего состояния (модель «AS-IS»): Проведен аудит типичных финансовых цепочек малого предприятия, таких как расчеты с контрагентами, выплата заработной платы и налоговое планирование. В качестве основного инструмента описания процессов использовались нотации графического моделирования (UML, BPMN), позволяющие визуализировать точки возникновения информационных задержек и дублирования функций.

2. Функционально-стоимостной анализ: Оценка временных и материальных затрат на выполнение финансовых операций в традиционной модели.

3. Проектирование целевого состояния (модель «TO-BE»): На основе принципов архитектуры открытых систем была разработана модель автоматизированного взаимодействия. Ключевое внимание уделялось механизмам обмена данными в формате JSON через защищенные протоколы аутентификации [6].

4. Сравнительная оценка: Использование методов математической статистики для сопоставления показателей пропускной способности финансовых процессов до и после проведения реинжиниринга.

Для разработки прикладных решений использовались инструменты бизнес-аналитики и среды моделирования информационных систем (такие как ARIS и BPwin), что позволило обеспечить высокую детализацию алгоритмов взаимодействия фронт-офиса банка с бэк-офисом предприятия. Информационной базой исследования послужили отчеты Банка России о развитии открытых API, аналитические данные международных консалтинговых агентств и документация разработчиков банковских API [7, 10].

3. Основная часть: анализ и результаты

3.1. Декомпозиция традиционных финансовых процессов малого предприятия (модель «AS-IS»)

В традиционной модели управления финансами малого предприятия (модель «AS-IS») ключевой проблемой является высокая степень дискретности информационных потоков. Исследование типовых цепочек операций показало, что процесс «Оплата счета – Отражение в учете» состоит в среднем из 5–7 этапов, требующих ручного вмешательства. Бухгалтер или финансовый менеджер вынужден ежедневно выполнять рутинные действия: авторизацию в системе «клиент-банк», экспорт выписок в промежуточные форматы (например, .txt или .csv), последующий импорт в учетную систему (1С, КИС) и ручную разносимость платежей по статьям движения денежных средств.

Статистический анализ временных затрат на предприятиях малого бизнеса показал, что до 40% рабочего времени финансового персонала тратится на сверку данных и исправление ошибок, возникших при ручном вводе. В условиях 2026 года, когда скорость оборачиваемости капитала является критическим фактором конкурентоспособности, такая модель становится

деструктивной. Основным «узким местом» является отсутствие прямой связи между событием в банковской системе (поступление средств) и реакцией в бизнес-логике предприятия (отгрузка товара, запуск производства).

3.2. Архитектура реинжиниринга на базе технологий Open API

Реинжиниринг, предлагаемый в данной работе, базируется на переходе к модели прямой интеграции («Direct Banking»). Технологическим ядром выступает стек протоколов Open API, который стал общепринятым индустриальным стандартом [8]. Архитектура интеграционного решения предполагает создание защищенного канала обмена данными между API-шлюзом банка и корпоративной информационной системой (КИС) предприятия.

Процесс реинжиниринга включает три ключевых этапа:

Автоматизация идентификации: Внедрение механизмов OAuth 2.0 для безопасного делегирования прав доступа учетной системе. Это исключает необходимость передачи логинов и паролей от банковских аккаунтов, повышая уровень кибербезопасности.

Событийно-ориентированная архитектура (Event-Driven): Вместо периодического опроса системы (polling) внедряются Webhooks-уведомления. Как только банк регистрирует транзакцию, КИС мгновенно получает JSON-пакет с метаданными платежа.

Интеллектуальная маршрутизация: Автоматическое сопоставление входящих платежей с выставленными счетами на основе уникальных идентификаторов транзакций (UUID), что позволяет закрывать сделки в режиме реального времени.

Концептуальная модель «TO-BE» переносит фокус контроля с процесса исполнения на процесс верификации. Финансовый менеджер перестает быть «оператором ввода данных» и становится «контролером алгоритмов».

3.3. Оценка эффективности и практические результаты

Внедрение предложенной модели реинжиниринга позволяет достичь ряда значимых показателей. В ходе апробации модели на базе экспериментальной группы предприятий малого бизнеса были получены следующие результаты:

1. Сокращение операционного цикла: Время от момента поступления денег на счет до отражения операции в системе сократилось с нескольких часов до 2–5 секунд.

2. Снижение операционных рисков: Вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором при разнесении платежей, была снижена практически до нуля (менее 0,1%).

3. Оптимизация штатных затрат: Высвобождение до 30% рабочего времени бухгалтерской службы, которое было перенаправлено на задачи финансового планирования и анализа.

Отдельного внимания заслуживает влияние реинжиниринга на доступность кредитных ресурсов [9]. Благодаря открытым API, банк получает возможность анализировать транзакционную активность бизнеса в реальном времени (с согласия клиента). Это позволяет формировать предодобренные кредитные предложения на основе актуального денежного потока, что крайне важно для малого бизнеса, часто не имеющего ликвидного залога.

4. Выводы

Проведенное исследование подтверждает, что реинжиниринг финансовых процессов на основе открытых API является необходимым условием цифровой трансформации малого предпринимательства в 2026 году. Переход от модели «клиент-банк» к модели «банк внутри учетной системы» позволяет не только оптимизировать текущие затраты, но и создать базу для внедрения более сложных аналитических инструментов, включая элементы искусственного интеллекта для прогнозирования кассовых разрывов.

Ключевым выводом работы является положение о том, что технологическая готовность финтех-рынка должна сопровождаться организационными изменениями внутри самих предприятий. Реинжиниринг требует пересмотра должностных инструкций и повышения цифровой грамотности персонала. В качестве перспективного направления дальнейших исследований можно выделить интеграцию открытого банкинга с государственными информационными системами (налоги, закупки), что позволит создать полностью автоматизированную среду для ведения прозрачного и эффективного бизнеса.

Список литературы

1. Овчинников, А. С. Реинжиниринг бизнес-процессов как инструмент цифровой трансформации предприятия / А. С. Овчинников // Вестник экономики, права и социологии. – 2022. – № 1. – С. 24–28.
2. Глотов В. И., Кузнецов А. А. Развитие экосистемы открытых API в финансовом секторе Российской Федерации: аналитический доклад. – Москва : Финансовый университет, 2023. – 45 с.
3. Щербаков, В. В. Автоматизация финансовых потоков в логистических системах на базе концепции Open Banking / В. В. Щербаков // Информационные технологии в управлении. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 112–119.
4. Данилова О. В. Цифровые платформы как фактор повышения конкурентоспособности малого бизнеса / О. В. Данилова // Экономика и управление. – 2025. – № 2. – С. 15–21.
5. Официальный сайт форума Kazan Digital Week. Материалы секции «Экосистема финтех» [Электронный ресурс]. – URL: https://kazandigitalweek.com (дата обращения: 10.05.2026).
6. Zachariadis M., Ozcan P. The API Economy and Digital Transformation in Financial Services: The Case of Open Banking // SWIFT Institute Working Paper. – 2017. – № 2016-001. – P. 1–38.
7. Brodsky L., Oakes L. Data sharing and open banking // McKinsey & Company. 2021. [Electronic resource]. – URL: https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/data-sharing-and-open-banking (accessed: 12.05.2026).
8. Schueffel P. Taming the Beast: A Taxonomy of Fintech // Journal of Innovation Management. – 2016. – Vol. 4, № 4. – P. 32–54.
9. Varga D. Fintech, the New Era of Financial Services // Economy & Business Journal. – 2017. – Vol. 11, № 1. – P. 71–83.
10. Официальный сайт Центрального Банка РФ. Материалы раздела «Развитие финансовых технологий» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cbr.ru/fintech (дата обращения: 12.05.2026).

УДК 339.172

ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА УТИЛИТАРНЫХ ЦИФРОВЫХ ПРАВ В КОНТЕКСТЕ СТРАТЕГИРОВАНИЯ БИОЭКОНОМИКИ В РОССИИ

Салимов Л.Н., д.э.н., доцент, профессор кафедры финансовой аналитики и поведенческой экономики ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова (ИЭУП)», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0830-8977

FACTORS INFLUENCING THE DEVELOPMENT OF THE UTILITY DIGITAL RIGHTS MARKET IN THE CONTEXT OF STRATEGIZING THE BIOECONOMY IN RUSSIA

Salimov L.N., D.Sc. (Econ.), Associate Professor, Professor at the Department of Financial Analytics and Behavioral Economics, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov (IEML), Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0830-8977

Аннотация

Актуальность исследования факторов развития рынка утилитарных токенов в условиях стратегического планирования биоэкономики обусловлена теоретической ценностью и практической значимостью идентификации движущих сил интеграции инновационных ин-

струментов в национальную систему управления инвестиционной активностью. Для идентификации вышеуказанных факторов необходим обзор научных исследований и анализ практического опыта реализации широкого спектра компонентов исследуемого рынка. На основании исследования были сделаны следующие выводы. Среди факторов, позитивно влияющих на развитие рынка исследуемых утилитарных цифровых прав, наиболее значимым считаем политически стимулированный спрос на долгосрочное развитие биоэкономики. Среди факторов, негативно влияющих на развитие рынка исследуемых цифровых прав, наиболее значимыми считаем: дефицит инструментов криптографической защиты и система подготовки профессиональных токеномистов с экспертизой в биоэкономике. Были предложены сценарии краткосрочной профессиональной подготовки вышеуказанных дефицитных специалистов.

Ключевые слова: утилитарные токены, токеномика, декарбонизация экономики, регенеративные финансы, биоэкономика

Abstract

The relevance of studying the factors influencing the development of the market for utility tokens in the context of strategic planning in the bioeconomy is due to the theoretical value and practical significance of identifying the driving forces behind the integration of innovative tools into the national system for managing investment activity. To identify the aforementioned factors, it is necessary to review scientific research and analyze practical experience in implementing a wide range of components of the market under study. Based on the study, the following conclusions were drawn. Among the factors positively influencing the development of the market for the utility digital rights under consideration, we consider politically stimulated demand for the long-term development of the bioeconomy to be the most significant. Among the factors negatively affecting the development of the market for the digital rights under study, we consider the most significant to be: the shortage of cryptographic protection tools and the system for training professional tokenomists with expertise in bioeconomics. Scenarios for short-term professional training of the aforementioned shortage of specialists have been proposed.

Keywords: utility tokens, tokenomics, decarbonization of the economy, regenerative finance, bioeconomy

Введение

Теоретическая ценность и практическая значимость определения движущих сил интеграции рынка утилитарных токенов в национальную систему управления инвестиционной активностью в условиях стратегического планирования биоэкономики обуславливают актуальность анализа факторов развития вышеуказанных инновационных инструментов. Понимание природы исследуемых факторов открывает новые возможности регулирования рынка цифровых прав. В целях выявления вышеуказанных факторов необходимо обобщить научные исследования и проанализировать практический опыт реализации широкого спектра компонентов исследуемого рынка.

Основная часть

Представляют научно-практический интерес факторы, во-первых, благоприятствующие, во-вторых, сдерживающие развитие рынка утилитарных цифровых прав (далее – УЦП). Предлагается выявить наиболее значимые факторы применительно к такому тренду общественной жизни страны, как биоэкономика. Специфика вышеуказанного кластера отечественной экономики обуславливает, с одной стороны, растущий спрос на инвестиции вообще и венчурные инвестиции в частности, а с другой стороны, имеет место дефицит некоторых видов ресурсов, критических важных для биоэкономики.

Публично объявленный Президентом РФ курс на стратегическое развитие биоэкономики, с одной стороны, нашел отражение в системе планирования и исполнения бюджетных расходов и государственного стимулирования проектов в рамках вышеуказанного кластера,

а с другой стороны, предопределил научный поиск внебюджетных источников финансирования.

Обширный потенциал регулирования финансовой устойчивости, стимулирования, а также финансирования как текущих, так и капитальных расходов в рамках проектов по стратегическому развитию биоэкономики имеет рынок цифровых прав. В научном сообществе имели место исследования в области выпуска утилитарных токенов (аналог УЦП), в том числе связанных с поставкой аграрной и смежной продукции, торгуемой, прежде всего, на товарной бирже. Вышеуказанный акцент на сельскохозяйственную продукцию обусловлена сущностью и структурой процессов биологизации экономики. Среди научных исследований, посвященных выпуску УЦП в контексте реализации потенциала биоэкономики, представляют интерес следующие. В частности, Dias F. и Bretones L. в научной статье «Управление рисками и внедрение инноваций на развивающихся рынках: обзор регулирования цифровых активов, смарт-контрактов, токенизации и LegalTech в Бразилии» исследовали проект Agrotoken (Аргентина и Бразилия). Shao S. F. в научной статье «Об экстремальной зависимости между сельскохозяйственными токенами и сельскохозяйственными товарами» оценили взаимосвязь экстремальных доходностей сельскохозяйственных токенов и традиционных сельскохозяйственных товаров. Farooq M. S. и соавторы научной статьи «Прозрачная и надёжная система поставок пшеницы на основе блокчейна» для возможности отслеживания, надёжности и безопасности системы цепочки поставок пшеницы и, как следствие, контроля цен «предложили новый токен под названием Wheat Coin, работающий на основе смарт-контракта Ethereum» [3]. Представляют интерес следующие научно обоснованные выводы авторов вышеуказанного исследования. Во-первых, построение системы на базе сети Binance Smart Chain обеспечивает более быструю верификацию транзакций с меньшими комиссиями, чем существующие блокчейны. Во-вторых, для хранения зашифрованной информации о заинтересованных сторонах была использована система IPFS. И, наконец, в-третьих, экспериментальные результаты показали, что предложенная система значительно превосходит существующие по таким показателям, как задержка при добавлении новых блоков, количество транзакций в минуту, средняя комиссия за транзакции и время верификации транзакций. Токен Wheat Coin стал предметом острой дискуссии в научном мире.

Аналогичные инициативы были выдвинуты в отношении рынка цитрусовых, кофейных зерен, какао, соевых и иных зернобобовых культур. В частности, Kanwal S. и соавторы научной статьи «Платформа на основе блокчейна для обеспечения прозрачности и надёжности цепочки поставок цитрусовых в сельском хозяйстве» предложили «новый криптовалютный токен под названием Citrus Coin, который будет использоваться при привлечении инвесторов в цепочку создания стоимости цитрусовых» [4].

Имели место предложения в части токенизации более обширного спектра сельскохозяйственных культур, то есть вне узкой специализации. В частности, Aksoy D. M. – генеральный директор и учредитель проекта Cropto (https://www.cropto.io/), – и Satı Z. E. в научной статье «Токенизация реальных активов: внедрение системы сельскохозяйственных токенов на основе архитектуры блокчейна» представили свое видение перспектив реализации разработанного приложения Agricultural Token System, использующего «смарт-контракты, созданные на основе веб-технологий и сети блокчейн, а также токенизацию сельскохозяйственной продукции в сети блокчейн и ее конвертацию в финансовую ценность в рамках токенизации реальных активов» [1]. В вышеуказанной статье была сформулирована частично достигнутая цель проекта Cropto – расширение платформы токенизации посредством включения в нее обширного ассортимента сельскохозяйственных продуктов. Представляет интерес следующий вывод, сформулированный авторами вышеуказанного исследования: «Система сельскохозяйственных токенов имеет масштабируемую и расширяемую структуру, которая позволяет создать проекцию сельскохозяйственной продукции, хранящейся в надлежащих условиях на складах, в виде базы данных блокчейна со смарт-контрактами, созданными в блокчейн-инфраструкту-

ре для каждого вида сельскохозяйственной продукции, и преобразовать ее в инвестиционный инструмент» [1]. Таким образом, сельскохозяйственные токены это значимый этап на пути к демократизации торговли активами на товарной бирже и биологизации экономики.

Наряду с растениеводством существенный потенциал в части биологизации экономики имеется в лесном хозяйстве и иных видах экономической деятельности, однако научных исследований относительно выпуска УЦП по поставке продукции, произведенной вне растениеводства и соответствующих принципам биоэкономики, крайне мало.

Достижение целей устойчивого развития обуславливает интерес не только к комплементарной конвергенции, но и к компромиссу стратегий, как в случае синхронизации мер по экологизации и биологизации экономики. Например, система токенов, созданных для декарбонизации экономики посредством токенизации углеродных единиц, включая токен TCO2 (в рамках концепции Toucan Protocol; https://toucan.earth/), пулы ликвидности BCT (Base Carbon Tonne) и NCT (Nature Carbon Tonne), а также KLIMA (KlimaDAO; https://www.klimaprotocol.com/), органично интегрировалась в проекты развития биоэкономики.

На стыке экологических инициатив и децентрализованных финансов (DeFi) сформировалось относительно новое явление – регенеративные финансы (ReFi). УЦП в рамках ReFi стал предметом острой дискуссии в научном мире. В частности, Silamat E. и соавторы научной статьи «Регенеративное какао 4.0: токен NFT и агробизнес-модель на основе смарт-контрактов для фермеров поколения Z в Реджанг-Лебонге, Бенгкулу» сформулировали следующие выводы. Во-первых, «интеграция технологий Web 3.0 с методами регенеративного сельского хозяйства может увеличить доходы фермеров на 40–60 %, снизить транзакционные издержки на 10–40% и повысить прозрачность цепочки поставок» [8]. Во-вторых, «для успешной реализации этого подхода необходимо решить ряд серьёзных проблем, включая ограничения технологической инфраструктуры, низкий уровень цифровой грамотности, высокие первоначальные инвестиционные затраты и неопределённость в сфере регулирования» [8].

Таким образом, научные изыскания и практический опыт токенизации широкого спектра проектов экологизации экономики стал фундаментом исследования потенциала выпуска УЦП в части развития биоэкономики. В частности, возможности УЦП в проектах биологизации экономики представлены в следующих научных работах: [6, 7, 9].

Представляют интерес результаты научных исследований перспектив блокчейна в рамках узких сегментов биоэкономики. Mendonça Moreira E. L. и Cechin A. D. в научной статье «Цепочка создания стоимости биопластиков и блокчейн: снижение транзакционных издержек» на основании анализа двух сделок в цепочке создания стоимости биопластиков – между поставщиком сырья (кооперативом) и заводом по производству полимеров, а также между заводом по производству полимеров и перерабатывающей отраслью, – проанализировали перспективы выпуска токенов в рамках экономики биопластика и сделали следующие выводы. Во-первых, блокчейн может помочь удостовериться в том, что продукция, заявленная как «биоразлагаемая», действительно является таковой. В сочетании с адекватными политическими институтами он потенциально может свести к минимуму один из видов оппортунизма – «гринвошинг». Во-вторых, блокчейн не следует рассматривать как панацею, поскольку он не заменит благоприятную институциональную среду для развития цепочек создания стоимости биопластиков. И, наконец, в-третьих, блокчейн можно считать стратегическим решением, если биопластики позиционируются как «экологичные», поскольку эта технология связана с отслеживанием цепочки поставок» [5].

Fantaccini S., Grassi L. и Howell S. в научной статье «Инновации в фармацевтике: объединение традиционных способов приобретения и новых технологий» в рамках полуструктурированного интервью со стейкхолдерами ведущей фармацевтической компании с большой капитализацией выявили, что блокчейн: «редко рассматривается как самостоятельная технология, чаще упоминается как базовая инфраструктура, которая делает возможными определенные децентрализованные модели, … ассоциируется с потенциальными механизмами для

внедрения внешних инноваций на ранних этапах, такими как возможность аудита процесса принятия решений и вклада участников, программируемые структуры стимулирования и возможность координировать участие в проектах, невзирая на организационные границы» [2]. Авторы вышеуказанного исследования сделали следующий вывод: «На этапе поиска источников финансирования децентрализованные механизмы, основанные на взаимодействии с сообществами, могут расширить доступ к ранним научным сигналам за счет привлечения более разнообразных сетей исследователей и новаторов, потенциально дополняя традиционные методы поиска и анализа. На этапе отбора такие функции, как распределенная оценка, прозрачное принятие решений и общие стимулы, могут способствовать раннему выявлению перспективных направлений и расстановке приоритетов, особенно в областях, которые являются новыми с научной точки зрения или недостаточно изучены» [2].

Таким образом, главным фактором, благоприятствующим развитию рынка исследуемых УЦП, считаем политически стимулированный спрос на долгосрочное развитие биоэкономики. Однако в России имели место лишь единичные случаи выпуска утилитарных токенов. В частности, первая и пока единственная сделка промышленной компании по продаже сокращений выбросов парниковых газов на блокчейне (аналог токена TCO2) была реализована в 2023 г. Первая и пока единственная сделка по выпуску УЦП, обеспеченных поставкой физического товара (пшеницы третьего класса), была реализована АО «ГК МЕЛКОМ».

Среди факторов, сдерживающих развитие рынка исследуемых УЦП, считаем необходимым отметить, во-первых, дефицит на рынке труда определенной категории специалистов в краткосрочной перспективе, во-вторых, дефицит инструментов криптографической защиты, в том числе и прежде всего ввиду развития ИИ и квантовых компьютеров. Квантово-устойчивость токенов и иные аспекты криптографической защиты не имеем возможности комментировать ввиду отсутствия соответствующей компетенции. В отношении дефицита специалистов отметим следующее.

Критически значимым для выпуска УЦП является разработка смарт контракта. В большинстве случаев в качестве библиотеки проверенных и безопасных смарт контрактов используют OpenZeppelin (https://www.openzeppelin.com/). В этом случае деплой реализуется, например, через Remix IDE (https://remix.live/), Hardhat (https://hardhat.org/), Foundry (https://www.getfoundry.sh/). Наряду с web3-разработчиками, аудиторами смарт-контрактов и смежными специалистами особую роль в выпуске УЦП выполняют токеномисты. Учитывая многообразие инструментов разработки утилитарного токена и специфику биологизации экономики, считаем, что подготовка профессиональных токеномистов с экспертизой в биоэкономике является главным фактором, сдерживающим развитие рынка исследуемых УЦП.

Теоретически краткосрочная профессиональная подготовка вышеуказанных специалистов может быть реализована, например, в рамках двух сценариев: во-первых, повышение квалификации токеномистов в части исследования специфики биоэкономики вообще или отдельных ее сегментов (биофармацевтика, биотопливо, биофильтрация, биоудобрения и прочее); во-вторых, повышение квалификации специалистов по биоэкономике посредством освоения компетенций, необходимых для тесного взаимодействия, прежде всего, с web3-разработчиками, аудиторами смарт-контрактов и иными членами команды разработки утилитарного токена.

Выводы

Таким образом, на основании исследования были сделаны следующие выводы. Главным фактором, благоприятствующим развитию рынка исследуемых УЦП, считаем политически стимулированный спрос на долгосрочное развитие биоэкономики. В качестве главных факторов, сдерживающих развитие рынка исследуемых УЦП, мы определили следующие: дефицит инструментов криптографической защиты и система подготовки профессиональных токеномистов с экспертизой в биоэкономике. Были предложены сценарии краткосрочной профессиональной подготовки вышеуказанных дефицитных специалистов.

Список литературы

1. Aksoy D. M., Satı Z. E. Tokenization of Real World Assets: An Agricultural Token System Implementation Based on Blockchain Architecture // Uygulamalı Mühendislik ve Tarım Dergisi. – 2025. – Т. 2. – № 1. – С. 24-32.
2. Fantaccini S., Grassi L., Howell S. Innovating Pharma: Bridging Traditional Acquisition and Emerging Technologies // Blockchain in Healthcare Today. – 2026. – Т. 9. – № 1. – С. 10.30953/bhty. v9. 435.
3. Farooq M. S. et al. Blockchain based transparent and reliable framework for wheat crop supply chain //Plos one. – 2024. – Т. 19. – №. 1. – С. e0295036.
4. Kanwal S. et al. A Blockchain-based framework to make the citrus crop supply chain transparent and reliable in agriculture // VAWKUM Transactions on Computer Sciences. – 2024. – Т. 12. – № 2. – С. 205-220.
5. Mendonça Moreira E. L., Cechin A. D. Bioplastics value chain and blockchain: reducing transaction costs // RAUSP Management Journal. – 2025. – Т. 60. – № 1. – С. 75-91.
6. Sanjay V. M. Leveraging tokenization in blockchain-based circular economy: A paradigm shift towards sustainable resource management // International Journal. – 2024. – Т. 13. – № 1. – С. 293-300.
7. Semaan G. et al. Empirical Insights into Economic Viability: Integrating Bitcoin Mining with Biorefineries Using a Stochastic Model // Systems. – 2025. – Т. 13. – № 5. – С. 359.
8. Silamat E. et al. Regenerative cacao 4.0: NFT token and smart contract-based coffee-cacao agribusiness model for gen-Z farmers in Rejang Lebong, Bengkulu // Journal of Advanced Multidisciplinary Studies. – 2026. – Т. 2. – № 1. – С. 13-23.
9. Van Wassenaer L. et al. Tokenizing circularity in agri-food systems: A conceptual framework and exploratory study // Journal of cleaner production. – 2023. – Т. 413. – С. 137527.

УДК 336.71

ЦИФРОВЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО СПРОСА НА ФИНАНСОВЫЕ ПРОДУКТЫ ИСЛАМСКОГО БАНКИНГА В РОССИИ

Сахбиева А.И., к.э.н., доцент кафедры финансовых рынков и финансовых институтов Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-8609-5191;
E-mail: aminasmile@mail.ru

DIGITAL FACTORS SHAPING CONSUMER DEMAND FOR ISLAMIC BANKING FINANCIAL PRODUCTS IN RUSSIA

Sakhbieva A.I., candidate of economic sciences, associate professor, Department of financial markets and financial institutions, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-8609-5191;
E-mail: aminasmile@mail.ru

Аннотация

Цифровая трансформация финансового сектора существенно меняет механизм формирования потребительского спроса, поскольку доступность финансового продукта все в большей степени определяется не территориальным присутствием финансовой организации,

а возможностью получения информации, выбора, оформления и последующего использования услуги в дистанционном формате. Цель исследования состоит в выявлении и систематизации цифровых факторов, способных влиять на формирование потребительского спроса на финансовые продукты исламского банкинга в России, с учетом результатов зарубежных эмпирических исследований и современных тенденций российского финансового рынка. Установлено, что воздействие цифровизации на спрос не ограничивается повышением физической доступности банковских услуг: значимыми факторами выступают воспринимаемая полезность и простота цифрового сервиса, информационная доступность, доверие к финансовой организации, безопасность операций, прозрачность соответствия продукта принципам исламских финансов и качество дистанционного взаимодействия с клиентом. Российская специфика состоит в сочетании высокого общего уровня цифровизации финансового поведения населения с недостаточной информированностью о содержании партнерского финансирования. Сделан вывод, что основным резервом развития спроса является переход от простой цифровой доступности продуктов к формированию цифровой клиентской среды, объединяющей информацию, подтверждение соответствия продукта установленным принципам, сравнение условий, дистанционное оформление и постпродажное сопровождение. Предложена систематизация цифровых факторов потребительского спроса и определены направления их использования российскими участниками рынка партнерского финансирования.

Ключевые слова: исламский банкинг, партнерское финансирование, потребительский спрос, исламские финансы, цифровизация, финансовые технологии, цифровой банкинг, доверие, финансовая грамотность, потребительское поведение

Abstract

Digital transformation of the financial sector is substantially changing the mechanism of consumer demand formation, since the accessibility of a financial product increasingly depends not on the territorial presence of a financial institution but on the ability to obtain information, compare alternatives, purchase and subsequently use a service through digital channels. The purpose of the study is to identify and systematize digital factors affecting consumer demand for Islamic banking products in Russia, taking into account international empirical evidence and current trends in the Russian financial market. The study demonstrates that the effect of digitalization on consumer demand goes beyond increasing the physical accessibility of banking services. Important determinants include perceived usefulness and ease of use, access to reliable information, institutional and digital trust, transaction security, transparency of Sharia compliance and the quality of remote customer interaction. A specific feature of the Russian market is the coexistence of a highly digitalized financial behavior model with insufficient public understanding of participatory finance mechanisms. The findings suggest that the main potential for stimulating demand lies in moving from simple digital availability of Islamic financial products toward an integrated digital customer environment combining consumer education, product comparison, verification of compliance principles, remote onboarding and post-sale support. The paper proposes a classification of digital demand factors and identifies practical directions for their application by Russian participatory finance providers.

Keywords: Islamic banking, participatory finance, consumer demand, Islamic finance, digitalization, financial technology, digital banking, trust, financial literacy, consumer behavior

Введение

Исламские финансы за последние годы превратились из специализированного сегмента финансовой системы отдельных государств в заметную часть мирового финансового рынка. По данным Islamic Finance Development Report 2025, совокупный объем активов глобальной индустрии исламских финансов по итогам 2024 г. достиг 5,98 трлн долл. США, увеличившись за год на 21%. Исследование охватывает 140 государств, что свидетельствует о существенном расширении географии применения соответствующих финансовых инструментов [1].

Одновременно происходит формирование отдельного сегмента исламских финансовых технологий. Согласно Global Islamic Fintech Report 2025/26, объем операций на мировом рынке исламских финансовых технологий в 2024/25 гг. оценивается в 198 млрд долл. США и может увеличиться до 341 млрд долл. к 2029 г. при среднегодовом темпе роста около 11,5%. В мире идентифицировано 484 исламских финтех-компании в 41 государстве, причем 72% организаций сосредоточено в пяти направлениях: альтернативное финансирование, управление капиталом, платежи, привлечение финансирования, а также депозитно-финансовые продукты [2].

Российский финансовый рынок в целом отличается высокой интенсивностью использования дистанционных технологий, и цифры это подтверждают. Доля населения, применяющего дистанционные каналы для переводов, выросла с 23,7% в 2016 г. до 76,6% в 2024 г. [13]. Розничные платежи тоже всё активнее уходят в безналичный формат: в 2025 г. их доля достигла 88%. Растёт и разнообразие способов оплаты, поэтому в IV квартале на альтернативные варианты, а именно Систему быстрых платежей, QR-коды, платежные приложения, электронные кошельки и биометрию, пришлось уже 14,1% объема безналичных платежей [14].

Российские потребители технологически вполне готовы к дистанционному финансовому обслуживанию, и это создает своеобразное противоречие. Рынок партнерского финансирования при этом остается небольшим, а потенциальные клиенты по-прежнему недостаточно о нем информированы.

Методика исследования

В работе используются несколько методов. Изучены зарубежные научные публикации о том, как клиенты исламских банков ведут себя, пользуясь мобильным и интернет-банкингом. В выборку попали эмпирические исследования, где авторы разбирали факторы, влияющие на намерение пользоваться цифровыми банковскими услугами, на реальное использование сервисов или на удовлетворенность ими.

Оценка российского рынка опиралась на несколько источников. Банк России опубликовал официальные материалы за 2024-2026 годы, дополненные результатами мониторинга эксперимента по партнерскому финансированию и исследованиями потребительского спроса, которые проводило Министерство экономики Республики Татарстан. Работа с этими данными велась с использованием сравнительного метода и группировкой факторов, а полученные результаты подвергались анализу. Отдельно сопоставлялась динамика цифровизации российского финансового сектора с институциональным развитием рынка партнерского финансирования.

Результаты исследования

Исламские финансовые технологии – это набор цифровых инструментов, с помощью которых финансовые продукты, соответствующие принципам исламских финансов, разрабатываются, предоставляются клиентам, сопровождаются и контролируются. Сюда входят цифровой и мобильный исламский банкинг, платежные сервисы, цифровые платформы и финансовые маркетплейсы, поскольку именно они обеспечивают доступ к продуктам. Также в этот перечень включены технологии искусственного интеллекта и анализа больших данных, распределенные реестры и блокчейн, цифровые договоры. Отдельное место занимают цифровая идентификация клиентов и дистанционное заключение сделок, открытые программные интерфейсы и технологии открытого банкинга, исламский краудфандинг, цифровые инвестиционные платформы. Существуют решения в сфере цифрового такафула, а завершают список технологии автоматизированного регуляторного и шариатского контроля, без которых сама система теряла бы устойчивость [2].

Рассмотрим уровень цифровизации в современной индустрии исламских финансов. Как показывают данные табл. 1, развитие исламского банкинга сопровождается быстрым расширением финансово-технологического сегмента.

Таблица 1

Показатели развития мировой индустрии исламских финансов и исламских финансовых технологий

Показатель	Значение
Совокупные активы мировой индустрии исламских финансов (2024 г.)	5,98 трлн. долл.
Годовой прирост активов исламских финансов (2024 г.)	21%
Объем мирового рынка исламских финансовых технологий (2024–2025 гг.)	198 млрд. долл.
Прогноз объема исламских финансовых технологий (до 2029 г.)	341 млрд. долл.
Прогнозируемый среднегодовой темп роста технологий (до 2029 г.)	11,5%
Количество исламских финтех-компаний (2025–2026 гг.)	484
Количество стран присутствия (2025–2026 гг.)	41

Источник: составлено автором по данным [1; 2].

Приведенные показатели позволяют говорить о постепенной трансформации модели предложения исламских финансовых продуктов. Если традиционная модель предполагала формирование сети специализированных банков и отделений, то цифровая модель дает возможность охватывать клиентов за пределами территорий непосредственного присутствия финансового института. Для России такая особенность принципиальна, поскольку специализированная инфраструктура партнерского финансирования пока существенно уступает традиционной банковской инфраструктуре.

Для выявления наиболее устойчивых факторов, определяющих принятие цифровых сервисов исламского банкинга, целесообразно обратиться к результатам зарубежных эмпирических исследований. В различных странах авторы анализируют влияние воспринимаемой полезности, простоты использования, доверия, риска, религиозности, социальной среды и соответствия продукта принципам исламских финансов на готовность клиентов пользоваться мобильными и иными цифровыми банковскими сервисами. Сопоставление этих исследований позволяет определить общие закономерности формирования потребительского поведения и одновременно выявить особенности, характерные именно для исламского банкинга. Основные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты зарубежных исследований цифрового поведения клиентов исламских банков

№	Исследование	Выборка	Основные результаты
1	Yaseen S.G., El Qirem I.A., Dajani D., Иордания	358 клиентов исламских банков	Для клиентов важны полезность сервиса, доверие банку и мотивация использования
2	Sudarsono H. и др., Индонезия	219 клиентов исламских банков	Для клиентов важны совместимость технологии с потребностями клиента, наблюдаемость результата, информированность и религиозность.

Окончание табл. 2

№	Исследование	Выборка	Основные результаты
3	Abdurrahman A., Индонезия	970 клиентов исламских банков	На намерение использовать исламский мобильный банкинг влияют воспринимаемая полезность, простота, инновационность, репутация организации, воспринимаемый риск и соответствие принципам шариата
4	Raza S.A., Shah N., Ali M., 2019, Пакистан	229 клиентов исламских банков	На намерение использовать мобильный банкинг положительно влияют ожидаемая результативность, простота использования, воспринимаемая ценность, привычка и гедонистическая мотивация. Социальное влияние статистически значимого воздействия не показало.
5	Mohd Thas Thaker M.A.B. и др., Малайзия.	250 пользователей исламского мобильного банкинга	Условием использования мобильных банковских услуг стали воспринимаемая полезность и воспринимаемый риск. Удобство само по себе недостаточно. Решение клиента зависит также от оценки рисков цифрового взаимодействия.
6	Suhartanto D. и др., Индонезия	300 клиентов исламских банков	Для клиентов полезность и простота мобильного приложения являются основными факторами использования мобильного банкинга. Важным фактором выступает религиозность потребителя, поэтому авторы предлагают объединять технологическую модель принятия с моделью религиозно обусловленного поведения.
7	Samsudeen S.N., Selvaratnam G., Mohamed A.H.H., Шри-Ланка	582 клиента исламских банков	Для потребителя важны эффективность, удобство, социальное одобрение, мотивация и привычки. Возраст, пол и опыт использования также влияют.
8	Idrees M.A., Ullah S., Пакистан	382 респондента, в том числе 199 пользователей исламских банков	Сравнение клиентов исламских и традиционных банков показало различия в механизмах принятия финансовых технологий. Для клиентов исламских банков на намерение использовать финтех-сервисы влияют ожидаемая результативность и простота использования.
9	Abdurrahman A., Athaillah M.A., Janwari Y., Meiza A., Индонезия	1161 пользователь исламского мобильного банкинга	Для клиентов важны полезность, восприятие пользователя, субъективные нормы и соответствие принципам исламских финансов.
10	Kutval Y., Турция	358 клиентов банков участия	Для клиентов важны полезность и простота использования. Религиозность клиента также влияет на его решение пользоваться сервисом.

Источник: составлено автором по данным [3, 4, 5, 6, 7. 8. 9, 10, 11, 12].

Обобщение результатов зарубежных эмпирических исследований показывает, что развитие потребительского спроса на цифровые продукты исламского банкинга определяется сочетанием технологических, поведенческих и специфических для исламских финансов факторов. Наиболее устойчиво в различных странах проявляется влияние воспринимаемой полезности и простоты использования цифрового сервиса. Вместе с тем исследования демонстрируют значимость доверия, воспринимаемого риска, социального влияния, привычки и качества цифрового взаимодействия. Исламский банкинг тем и отличается, что в модели принятия технологии включён фактор религиозности, а продукт должен соответствовать принципам исламских финансов. Новейшие исследования при этом смещают фокус. Раньше анализировался почти исключительно мобильный банкинг, теперь же учёные изучают принятие финансовых технологий гораздо шире, и это позволяет рассматривать цифровизацию как самостоятельный фактор, меняющий потребительское поведение.

Проведённое исследование позволяет сгруппировать цифровые факторы потребительского спроса на продукты исламского банкинга в пять взаимосвязанных категорий. Первая группа охватывает технологическую доступность сервисов, вторая связана с уровнем цифровой грамотности потребителей. Третья группа отражает доверие клиентов к онлайн-платформам, четвёртая объединяет факторы, касающиеся соответствия продуктов принципам шариата в цифровом формате. Пятая группа включает параметры удобства и скорости обслуживания через цифровые каналы. Все эти категории тесно переплетены и влияют друг на друга, формируя целостную картину потребительского поведения.

Клиенту больше не нужно приходить в офис, чтобы оформить продукт: заявку можно подать удалённо, в любое время суток, а операция пройдёт быстро, через мобильное приложение. Именно из таких признаков складывается первая группа факторов, определяющих цифровую доступность банковских услуг.

Есть и вторая группа факторов – информационно-когнитивные. Сюда относится то, насколько легко клиенту разобраться в самой сути партнерского финансирования, понятна ли ему подача продукта, может ли он вникнуть в структуру сделки, сопоставить варианты и получить консультацию, не выходя из цифровой среды. Без этого доверие не формируется.

Третья группа факторов связана с цифровым доверием. Сюда относятся безопасность операций, защита персональных данных, репутация поставщика услуги, прозрачность финансовой организации и качество дистанционной поддержки клиента. Обычный банковский продукт этого не требует, а здесь формируется двойное доверие, потому что клиент должен верить и самой финансовой организации, и заявленному соответствию продукта принципам партнерского финансирования.

Четвёртая группа факторов связана с ценностной и шариатской прозрачностью. Цифровая среда открывает возможность публиковать методологию продукта. Здесь же – сведения о шариатской экспертизе, структуре договора, механизме формирования дохода и распределения рисков.

Пятую группу составляют факторы цифрового клиентского опыта. Здесь важно удобство интерфейса. Значение имеет персонализация. Скорость обратной связи тоже входит в этот перечень, а завершают его бесшовность регистрации, оформления и сопровождения сделки.

Насколько важна информационно-когнитивная составляющая, видно из данных, собранных в Татарстане. Министерство экономики республики в 2021 г. опросило около 2,6 тыс. жителей 45 муниципальных районов, и выяснилось, что лишь 43% участников хоть что-то знали о партнерских финансах. Зато среди тех, кто интересовался этой темой, картина иная. Мурабаху для покупки недвижимости готовы были рассматривать 63,4% респондентов, инвестиционные продукты на основе мударабы привлекали 61,5%, а товарная мурабаха оказалась интересна 56,1% опрошенных [15].

По данным Министерства экономики Татарстана, представленных в 2023 г., недостаточный объем информации о продуктах и финансовых организациях называли препятствием 59% представителей населения и 45% представителей бизнеса; еще 38% указывали на непонимание механизма партнерского финансирования [16].

Сопоставление этих результатов с показателями цифровизации российского финансового рынка позволяет сделать существенный вывод. Проблемой развития спроса на партнерское финансирование является уже не столько отсутствие технологической возможности получить финансовую услугу дистанционно, сколько недостаточная представленность самого продукта в привычной для современного клиента цифровой среде.

Таблица 3

Показатели, характеризующие цифровые предпосылки развития спроса на партнерское финансирование в России

Показатель	Значение
Использование дистанционных каналов для переводов населением в 2016 г.	23,7%
Использование дистанционных каналов для переводов населением в 2024 г.	76,6%
Доля безналичных платежей в российском розничном обороте в 2025 г.	88,0%
Доля альтернативных способов в объеме безналичных платежей, IV квартал 2025 г.	14,1%
Осведомленность населения Татарстана о партнерских финансах, исследование 2021 г.	43%
Недостаток информации как барьер для населения, исследование 2023 г.	59%
Недостаток информации как барьер для бизнеса, исследование 2023 г.	45%
Участники эксперимента по партнерскому финансированию, сентябрь 2025 г.	33 организации
Портфель размещенных средств, июнь 2025 г.	3,3 млрд руб.
Портфель привлеченных средств, июнь 2025 г.	5,3 млрд руб.

Источник: составлено автором по данным [13, 14, 15, 16].

Отдельного внимания заслуживает динамика самого рынка. По итогам 2025 г. объем привлеченных средств в рамках программ партнерского финансирования в Татарстане, по данным Министерства экономики республики, увеличился в шесть раз и составил около 35 млрд руб. [17]. Этот показатель нельзя напрямую сопоставлять с портфелем, публикуемым Банком России, поскольку различаются период наблюдения, методика и охват операций, однако сам факт высокой динамики свидетельствует о расширении экономического интереса к соответствующим продуктам.

Особое значение для исламского банкинга приобретает возможность цифрового контроля параметров сделки, обеспечения ее прозрачности и подтверждения соответствия принципам исламских финансов. В результате формируется замкнутый механизм, в котором данные о поведении клиента используются для дальнейшего уточнения его потребностей и совершенствования финансового предложения. Данный механизм представлен на рис. 1.



Рис. 1. Цифровой механизм формирования спроса на продукты исламского банкинга

Представленный на рис. 1 механизм показывает, что исламские финансовые технологии способны воздействовать на потребительский спрос не только через расширение доступности услуг, но и через персонализацию финансового предложения, автоматизацию сделок и использование данных о поведении клиента. В результате формируется непрерывный цифровой цикл взаимодействия, при котором накопленная информация о потребителе используется для более точного выявления его потребностей и последующего формирования релевантных финансовых продуктов.

Отдельные факторы формирования потребительского спроса на финансовые продукты исламского банкинга в российских условиях, включая информированность населения, доступность продуктов и особенности потребительских предпочтений, рассматривались в более ранних исследованиях [18]. Исследования других сегментов финансовых технологий также показывают, что цифровые инновации способны изменять потребительские предпочтения за счет сокращения транзакционных издержек, повышения скорости и удобства осуществления

финансовых операций [19]. Практика реализации эксперимента по партнерскому финансированию в Республике Татарстан и особенности его институционального развития также получили отражение в отечественных исследованиях [20].

В этом отношении перспективным направлением является формирование цифровых агрегаторов партнерских финансовых продуктов. В Татарстане уже запущен единый информационный портал, предназначенный для объединения информации и продуктов участников рынка в цифровом пространстве [21]. Подобный формат способен снизить издержки поиска и одновременно повысить прозрачность рынка. В республике также проводится системная информационная работа, а по результатам мониторинга фиксировался рост информированности бизнеса.

Однако агрегатор должен выполнять не только рекламную функцию. Наиболее эффективной представляется модель, при которой цифровая платформа объединяет карточки продуктов, данные об участии организации в эксперименте, описание механизма сделки, документы о соответствии установленным принципам, финансовый калькулятор, сервис сравнения и возможность перехода к дистанционному оформлению.

Банки могут использовать и другой резерв роста, персонализацию предложения, поскольку цифровые технологии дают возможность сегментировать пользователей не только по социально-демографическим признакам, но и по финансовым потребностям. Для одной группы клиентов основным продуктом становится жилищное финансирование, для другой, инвестиционные инструменты, а предпринимателям нужнее торговое финансирование или лизинг. Такой подход заменяет абстрактное продвижение «исламских финансов» конкретным предложением, которое решает понятную потребителю финансовую задачу.

Цифровизация несет и ограничения. Дистанционное обслуживание разрастается, а вместе с ним растет значение кибербезопасности, защиты данных и противодействия мошенничеству. На новом рынке этот риск ощущается особенно остро: недостаточная осведомленность клиентов позволяет недобросовестным организациям свободно использовать терминологию исламских финансов. Поэтому расширение цифрового продвижения должно идти рука об руку с возможностью оперативно проверить статус поставщика услуги, а также с финансовым просвещением.

Один потребитель, выбирая между приложением обычного банка и сервисом исламского финансового учреждения, руководствуется далеко не только удобством интерфейса. На таких примерах видно: цифровая трансформация действует на спрос на продукты исламского банкинга неравномерно, разными гранями. Технологии дают лишь необходимую основу для роста рынка – но этого мало. Как показывают международные исследования, готовность людей пользоваться исламским мобильным банкингом складывается из полезности сервиса, его удобства, доверия к нему, уровня информированности клиента, репутации банка и того, насколько продукт соответствует принципам исламских финансов [5].

Российский рынок показывает противоречивую картину. Финансовое поведение населения уже во многом ушло в цифру, поскольку более трех четвертей людей пользуются дистанционными каналами переводов, а в розничном обороте безналичные расчеты давно преобладают. Но исследования партнерского финансирования обнаруживают другую сторону дела. Люди плохо понимают механизм таких продуктов, и информации о них им явно не хватает [9].

Спрос ограничивает не цифровое неравенство в привычном смысле. Тормозит его другое – разрыв между тем, насколько клиент готов к цифровым сервисам, и тем, насколько партнерский финансовый продукт представлен в информационном поле. Этот разрыв можно считать особой чертой складывающегося в России рынка исламского банкинга.

Опираясь на эту основу, цифровые факторы формирования спроса можно разделить на две группы. Одну группу составляют факторы, которые снижают издержки получения услуги, среди них дистанционность, скорость, удобство, мобильность. Другую группу образуют факторы, снижающие неопределенность, и здесь потребитель ориентируется на информацию,

прозрачность, возможность проверки, доверие, шариатское подтверждение и репутационные сигналы.

Выводы

Мировая индустрия исламских финансов находится на стадии масштабного роста, который сопровождается быстрым развитием исламских финансовых технологий. Международные эмпирические исследования показывают, что намерение пользоваться цифровыми сервисами исламского банкинга формируется под воздействием не одного технологического показателя, а комплекса факторов: полезности, простоты использования, доверия, репутации, информированности, риска и соответствия продукта принципам исламских финансов.

В России уже сложилась инфраструктура, благоприятная для цифрового развития партнерского финансирования. При этом сохраняется значительный информационный разрыв. Российские исследования фиксируют, что осведомленность людей о партнерских продуктах остается низкой, а сами механизмы работы этих продуктов понятны немногим. Из-за этого главным цифровым ограничителем спроса на нынешнем этапе оказывается не отсутствие доступа к технологиям, а нехватка качественной цифровой информации и институционального доверия. Поэтому цифровизация подстегивает спрос лишь тогда, когда финансовый продукт одновременно доступен, понятен и его характеристики можно проверить.

Чтобы расширить потребительский спрос, участникам рынка партнерского финансирования стоит формировать единую цифровую клиентскую среду. Она должна включать образовательный контент и стандартизированное описание продукта, а также визуализацию механизма сделки. Важна и возможность подтвердить соответствие продукта установленным принципам, сравнить условия разных предложений, оформить сделку дистанционно и получить дальнейшее сопровождение.

Список литературы

1. Islamic Corporation for the Development of the Private Sector, LSEG. Islamic Finance Development Report 2025: 50 Years of Exponential Growth. – 2025. – URL: www.lseg.com/en/data-analytics/islamic-finance/islamic-market-intelligence/islamic-finance-development-report-2025 (дата обращения: 31.08.2026). – Текст : электронный.

2. DinarStandard, Elipses. Global Islamic Fintech Report 2025/26. – 2026. – URL: www.dinarstandard.com/insights/global-islamic-fintech-%28gift%29-report-2025-26 (дата обращения: 11.08.2026). – Текст : электронный.

3. Yaseen, S. G. Islamic mobile banking smart services adoption and use in Jordan / S. G. Yaseen, I. A. El Qirem, D. Dajani // ISRA International Journal of Islamic Finance. – 2022. – Vol. 14, № 3. – P. 349–362. – DOI 10.1108/IJIF-04-2021-0065.

4. Sudarsono, H. The intention of Muslim customers to adopt mobile banking: The case of Islamic banks in Indonesia / H. Sudarsono, M. N. Kholid, A. Trisanty, M. Maisaroh // Cogent Business & Management. – 2022. – Vol. 9, № 1. – Article 2154102. – DOI 10.1080/23311975.2022.2154102.

5. Abdurrahman, A. Enhancing understanding of Islamic mobile banking adoption: insights from an extended technology–organizational–environment framework / A. Abdurrahman // Journal of Islamic Accounting and Business Research. – 2026. – P. 1–23. – DOI 10.1108/JIABR-06-2024-0230.

6. Raza, S. A. Acceptance of mobile banking in Islamic banks: evidence from modified UTAUT model / S. A. Raza, N. Shah, M. Ali // Journal of Islamic Marketing. – 2019. – Vol. 10, № 1. – P. 357–376. – DOI 10.1108/JIMA-04-2017-0038.

7. Mohd Thas Thaker, M. A. B. Factors influencing consumers' adoption of Islamic mobile banking services in Malaysia / M. A. B. Mohd Thas Thaker, A. B. Allah Pitchay, H. B. Mohd Thas Thaker, M. F. B. Amin // Journal of Islamic Marketing. – 2019. – Vol. 10, № 4. – P. 1037–1056. – DOI 10.1108/JIMA-04-2018-0065.

8. Suhartanto, D. Mobile banking adoption in Islamic banks: Integrating TAM model and religiosity-intention model / D. Suhartanto, D. Dean, T. A. T. Ismail, R. Sundari // Journal of Islamic Marketing. – 2020. – Vol. 11, № 6. – P. 1405–1418. – DOI 10.1108/JIMA-05-2019-0096.

9. Samsudeen, S. N. Intention to use mobile banking services: an Islamic banking customers' perspective from Sri Lanka / S. N. Samsudeen, G. Selvaratnam, A. H. H. Mohamed // Journal of Islamic Marketing. – 2022. – Vol. 13, № 2. – P. 410–433. – DOI 10.1108/JIMA-05-2019-0108.

10. Idrees, M. A. Comparative analysis of FinTech adoption among Islamic and conventional banking users with moderating effect of education level: A UTAUT2 perspective / M. A. Idrees, S. Ullah // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2024. – Vol. 10, № 3. – Article 100343. – DOI 10.1016/j.joitmc.2024.100343.

11. Abdurrahman, A. Examining factors affecting the acceptance of Islamic mobile banking services in Indonesia: insights into technology, customer behaviour, and Sharīʿah compliance / A. Abdurrahman, M. A. Athaillah, Y. Janwari, A. Meiza // International Journal= of Islamic Finance and Sustainable Development. – 2025. – Vol. 17, № 1. – P. 4–28. – DOI 10.55188/ijifsd.v17i1.924.

12. Kutval, Y. Determining factors of Islamic mobile banking (mobile participation banking) usage in Türkiye: analysis of TAM and religiosity-intention model / Y. Kutval // Fiscaoeconomia. – 2025. – Vol. 9, № 3. – P. 1469–1486. – DOI 10.25295/fsecon.1642321.

13. Основные направления развития финансового рынка Российской Федерации на 2026 год и период 2027 и 2028 годов / Центральный банк Российской Федерации. – Москва : Банк России, 2025. – 137 с. – URL: www.cbr.ru/Content/Document/File/181362/onrfr_2026_2028.pdf (дата обращения: 11.08.2026). – Текст : электронный.

14. Банк России. Итоги работы Банка России 2025: коротко о главном. Развитие системы платежей и расчетов. – URL: www.cbr.ru/about_br/publ/results_work/2025/razvitie-sistemy-platezhey-i-raschetov/ (дата обращения: 11.08.2026). – Текст : электронный.

15. Министерство экономики Республики Татарстан. В Татарстане изучили информированность населения об исламских финансовых услугах. – 20 сентября 2021 г. – URL: mert.tatarstan.ru/index.htm/news/2013530.htm (дата обращения: 11.08.2026). – Текст : электронный.

16. Интерфакс Россия. Инструменты исламского финансирования имеют преимущество перед традиционными по средней доходности от вложенных средств. – 21 декабря 2023 г. – URL: www.interfax-russia.ru/volga/exclusives/ministr-ekonomiki-tatarstana-midhat-shagiahmetov-instrumenty-islamskogo-finansirovaniya-imeyut-preimushchestvo-pered-tradicionnymi-po-sredney-dohodnosti-ot-vlozhennyh-sredstv (дата обращения: 31.08.2026). – Текст : электронный.

17. Министерство экономики Республики Татарстан. Объем привлеченных денежных средств по программам партнерского финансирования вырос в шесть раз в 2025 году. – 10 февраля 2026 г. – URL: mert.tatarstan.ru/index.htm/news/2492210.htm (дата обращения: 11.08.2026). – Текст : электронный.

18. Сахбиева, А. И. Факторы развития потребительского спроса на финансовые продукты исламского банкинга в России / А. И. Сахбиева // Тенденции и перспективы развития банковской системы в современных экономических условиях : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 12 декабря 2025 года. – Брянск : Брянский государственный университет им. акад. И. Г. Петровского, 2026. – С. 208–215.

19. Safiullin, L. N. The impact of bioacquiring on consumer demand in retail trade / L. N. Safiullin, A. I. Sakhbieva // Proceedings of the International Forum Kazan Digital Week – 2025 : Collection of materials, Kazan, 17–19 September 2025. – Vol. I. – Kazan : Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2025. – P. 955–963.

20. Аюпов, А. А. Опыт Республики Татарстан в реализации эксперимента по партнерскому финансированию (исламскому финансированию) / А. А. Аюпов, И. И. Галимов // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 3 (176). – С. 575–579. – DOI 10.34925/EIP.2025.176.3.102.

21. Агентство инвестиционного развития Республики Татарстан. Исламское (партнерское) финансирование и индустрия халяль. – URL: tida.tatarstan.ru/halal (дата обращения: 11.08.2026). – Текст : электронный.

УДК 330.101

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ И СТРУКТУРНЫЕ СДВИГИ СОВОКУПНОГО СПРОСА: МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Сахбиева А.И., к.э.н., доцент кафедры финансовых рынков и финансовых институтов Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-8609-5191;
E-mail: aminasmile@mail.ru

DIGITALIZATION OF THE ECONOMY AND STRUCTURAL SHIFTS IN AGGREGATE DEMAND: MACROECONOMIC CONSEQUENCES

Sakhbieva A.I., candidate of economic sciences, associate professor, Department of financial markets and financial institutions, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-8609-5191;
E-mail: aminasmile@mail.ru

Аннотация

Цифровая трансформация экономики сопровождается изменением не только способов производства и организации экономической деятельности, но и механизма формирования совокупного спроса. Цель исследования заключается в выявлении основных направлений структурных сдвигов потребительского, инвестиционного, государственного и внешнего спроса под воздействием распространения цифровых технологий и определении их макроэкономических последствий. Показано, что наиболее заметные изменения происходят в структуре потребительского спроса: расширение электронной торговли, развитие цифровых платежей и платформенных моделей сокращают транзакционные и поисковые издержки, увеличивают доступность товаров и способны изменять интенсивность потребления. В инвестиционном спросе усиливается перераспределение ресурсов в пользу программного обеспечения, баз данных, вычислительных мощностей и иных цифровых активов. Одновременно цифровизация государственного сектора формирует дополнительный спрос на информационную инфраструктуру и программные решения, а рост торговли цифровыми услугами меняет структуру внешнего спроса. Обосновано, что цифровизация воздействует на макроэкономическую динамику через два взаимосвязанных эффекта. Первый связан с расширением емкости рынков, снижением издержек и повышением производительности. Второй проявляется в возникновении новых структурных диспропорций вследствие различий в скорости цифровой трансформации отраслей, территорий и групп населения, высокой концентрации цифрового капитала, изменения структуры инвестиций и усиления зависимости отдельных экономик от внешних цифровых ресурсов. Сделан вывод о том, что оценка макроэкономических последствий цифровизации должна учитывать не только изменение общего объема совокупного спроса, но и пропорции его компонентов.

Ключевые слова: цифровизация, цифровая экономика, совокупный спрос, потребительский спрос, инвестиционный спрос, структурные сдвиги, электронная торговля, цифровые инвестиции, макроэкономические дисбалансы, цифровые услуги

Abstract

The digital transformation of the economy changes not only production methods and the organization of economic activity but also the mechanism through which aggregate demand is

formed. The purpose of this study is to identify the main structural shifts in consumer, investment, government and external demand caused by the diffusion of digital technologies and to determine their macroeconomic consequences. The study shows that particularly visible changes are occurring in consumer demand. The expansion of e-commerce, digital payments and platform-based business models reduces transaction and search costs, improves the accessibility of goods and services and can affect the intensity and structure of household consumption. Investment demand is increasingly redirected towards software, databases, computing capacity and other digital assets. At the same time, the digitalization of the public sector generates additional demand for information infrastructure and software solutions, while the expansion of digitally delivered services changes the composition of external demand. The paper argues that digitalization influences macroeconomic dynamics through two interrelated effects. The first is associated with market expansion, lower transaction costs, stronger competition and productivity growth. The second involves the emergence of new structural disproportions caused by differences in the speed of digital transformation across industries, territories and population groups, increasing concentration of digital capital, changes in the composition of investment and dependence on foreign digital resources. It is concluded that the macroeconomic effects of digitalization should therefore be assessed not only through changes in the overall volume of aggregate demand but also through changes in the proportions between its components.

Keywords: digitalization, digital economy, aggregate demand, consumer demand, investment demand, structural shifts, e-commerce, digital investment, macroeconomic imbalances, digital services

Введение

Цифровизация превратилась из локального технологического процесса в один из факторов изменения пропорций современной экономики. Если на первоначальных этапах распространение информационно-коммуникационных технологий связывалось преимущественно с повышением производительности предприятий, автоматизацией операций и сокращением издержек, то современный этап характеризуется их проникновением непосредственно в механизм формирования спроса. Цифровые платформы определяют способы поиска и выбора товаров, алгоритмы персонализируют предложения, электронная торговля меняет пространственные границы рынков, цифровые платежи сокращают время совершения транзакций, а программное обеспечение, базы данных, облачная инфраструктура и искусственный интеллект становятся самостоятельными направлениями инвестиционной активности.

Масштаб происходящих изменений подтверждается российскими данными. В 2025 г. затраты крупных и средних организаций на внедрение и использование цифровых технологий приблизились к 5,9 трлн руб., увеличившись за год на 11,8%. На программное обеспечение пришлось 37% этих расходов, на информационно-коммуникационное оборудование – 27%. Особенно значительно увеличились расходы на базы данных и цифровой контент – в 1,7 раза. Положительная динамика цифровых вложений наблюдалась в 16 из 18 обследуемых отраслей экономики [1].

Таким образом, цифровизация постепенно изменяет соотношение между различными направлениями использования денежных ресурсов. Этот процесс непосредственно затрагивает структуру совокупного спроса, традиционно представляемого как сумма потребительских расходов домашних хозяйств, валовых инвестиций, государственных расходов и чистого экспорта:

$$AD = C + I + G + NX,$$

где C – потребительский спрос; I – инвестиционный спрос; G – государственный спрос; NX – чистый экспорт.

В этой связи исследовательский интерес представляет вопрос не только о том, способствует ли цифровизация увеличению совокупного спроса, но и о том, каким образом под ее

воздействием меняются пропорции между его компонентами и внутри каждого из них. Именно структурные изменения могут создавать как дополнительные источники экономического роста, так и новые формы макроэкономических дисбалансов.

Методика исследования

Методическую основу исследования составили структурный и сравнительный подходы, методы статистического анализа и научного обобщения. Структурный подход использован для выявления изменений внутри основных компонентов совокупного спроса – потребительского, инвестиционного, государственного и внешнего. Сравнительный метод позволил сопоставить российские тенденции с изменениями, происходящими в мировой экономике.

Информационной базой послужили данные Банка России, Института статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Ассоциации компаний интернет-торговли, Всемирного банка, Организации экономического сотрудничества и развития, Всемирной торговой организации и Организации Объединенных Наций. Для обоснования отдельных каналов влияния цифровизации использованы результаты современных эмпирических исследований 2024–2026 гг.

Результаты

Наиболее масштабная трансформация происходит в сфере потребительского спроса. В данном случае цифровизация воздействует одновременно на доступность товаров, издержки поиска, способы оплаты, географию потребления и непосредственно на процесс принятия потребительского решения.

Показательным примером является электронная торговля. По данным Ассоциации компаний интернет-торговли, объем интернет-торговли в России в 2025 г. достиг 11,5 трлн руб., увеличившись на 28% по сравнению с предыдущим годом. Доля интернет-торговли в совокупном обороте розничной торговли возросла с 16,2% в 2024 г. до 18,8% в 2025 г. При этом 96,2% онлайн-покупок приходилось на внутренний рынок [2].

В первой половине 2026 г. тенденция продолжилась: объем интернет-торговли составил уже 7,2 трлн руб., что на 18,7% превышает показатель аналогичного периода предыдущего года, а доля онлайн-канала в розничных продажах достигла 22,2%. При этом 96,6% оборота было сформировано российскими интернет-магазинами и платформами. Это свидетельствует уже не просто о расширении нового канала продаж, а о структурной перестройке самой модели реализации потребительского спроса.

Меняется и товарная структура онлайн-потребления. По итогам 2025 г. на продукты питания и готовую еду пришлось 18,8% российского рынка электронной торговли, на товары для дома и мебель – 15,6%, одежду и обувь – 13,6%, электронику и бытовую технику – 13%. Наиболее высокие темпы роста, превышавшие 50%, демонстрировали цифровые товары.

Рост электронной торговли сопровождается цифровизацией платежного поведения. Доля безналичных платежей в российском розничном обороте увеличилась с 56% в 2018 г. до 88% в 2025 г., а по итогам I квартала 2026 г. достигла 88,9% [3]. Одновременно меняется внутренняя структура безналичных расчетов: в IV квартале 2025 г. на альтернативные способы оплаты – Систему быстрых платежей, QR-коды, платежные приложения, электронные кошельки и другие инструменты – приходилось уже 14,1% объема безналичных платежей.

Экономическое значение данного процесса выходит за пределы платежной сферы. Цифровая форма расчетов сокращает продолжительность и субъективную сложность покупки. Эмпирическое подтверждение этого эффекта получено S. Agarwal, P. Ghosh, J. Li и T. Ruan. На основе естественного эксперимента авторы установили причинную связь между переходом к цифровым платежам и увеличением фактических потребительских расходов. Согласно их оценкам, эффект сохранялся и после восстановления доступности наличных средств [4]. Авторы связывают его не только со снижением транзакционных издержек, но и с поведенческим эффектом уменьшения психологической ощутимости расходования денег.

Распространение подобных инструментов приобретает глобальный характер. По данным Global Findex 2025, финансовым счетом располагают 79% взрослого населения мира против 74% в 2021 г., а мобильными телефонами – 86%. В 2024 г. цифровые платежи непосредственно торговым организациям совершали 42% взрослых в мире [5].

В совокупности эти процессы дают основание выделить несколько направлений структурной трансформации потребительского спроса: переход части покупок из офлайн- в онлайн-среду; увеличение значения услуг доставки, цифрового контента и подписочных моделей; расширение географии доступного предложения; снижение поисковых и платежных издержек; ускорение совершения транзакций; усиление роли персонализированных рекомендаций в выборе товаров.

Однако изменение структуры совокупного спроса не ограничивается потреблением. Вторым важнейшим каналом выступает инвестиционный спрос. В России в 2025 г. расходы на программное обеспечение выросли на 13,7%, объем расходов на аренду вычислительных мощностей увеличился примерно в 1,5 раза, тогда как расходы на приобретение информационно-коммуникационного оборудования снизились на 10,2%. Тем самым происходит сдвиг от преимущественного приобретения физических цифровых активов к программным продуктам, облачным вычислениям, данным и сервисной модели использования цифровой инфраструктуры [1].

Аналогичная тенденция наблюдается в развитых экономиках. Исследование OECD 2026 г., охватывающее до 32 стран, показывает, что цифровые активы уже формируют около четверти совокупных бизнес-инвестиций. Около 60% цифровых инвестиций приходится на нематериальные активы – программное обеспечение и базы данных – и 40% на оборудование. За последнее десятилетие реальные цифровые инвестиции в странах OECD росли в среднем более чем на 6% ежегодно [6].

Особенно важен выявленный OECD эффект межстрановой дифференциации. В США реальные инвестиции в цифровые активы увеличивались в последнее десятилетие более чем на 9% в год, а различия именно в цифровых инвестициях объясняют почти 90% разрыва в темпах роста бизнес-инвестиций между США и остальными странами OECD. При этом цифровые активы отличаются ускоренным моральным и экономическим старением: для них характерны существенно более высокие нормы амортизации, чем для традиционного капитала.

Это обстоятельство принципиально важно с позиции совокупного спроса. Формирование цифрового капитала не представляет собой разовую замену традиционного оборудования. Высокая скорость обновления технологий формирует устойчивый спрос на программное обеспечение, вычислительные мощности, базы данных, центры обработки данных, исследования и разработки, а также человеческий капитал соответствующей квалификации.

Современные исследования указывают и на качественную сторону данного процесса. P. Guo, J. Bi и M. Zhu на данных китайских публичных компаний установили, что цифровая трансформация способна повышать эффективность инвестиций посредством уменьшения информационной асимметрии, снижения избыточного левериджа и ограничения недоинвестирования [7]. При этом эффект оказался неоднородным и в большей степени проявлялся среди частных компаний.

Цифровизация изменяет инвестиционный спрос одновременно количественно и структурно. Ресурсы перераспределяются от традиционного физического капитала к программным продуктам, данным, сетевой инфраструктуре и другим нематериальным активам. В результате инвестиционный компонент совокупного спроса становится более технологически насыщенным, но одновременно более чувствительным к скорости морального устаревания технологий, дефициту квалифицированных кадров и доступности цифровой инфраструктуры.

Отдельным направлением выступает трансформация государственного спроса. Цифровизация государственного управления предполагает расходы на государственные информационные системы, программное обеспечение, центры обработки данных, кибербезопасность,

электронные услуги и цифровую инфраструктуру. В России в 2025 г. расходы организаций государственного управления на цифровые технологии увеличились на 20–22%, то есть значительно быстрее общего роста цифровых расходов обследованных организаций [1].

Международная динамика также подтверждает расширение цифрового государства. Согласно UN E-Government Survey 2024, за период с 2022 по 2024 г. доля населения мира, проживающего в странах, отстающих по уровню развития электронного правительства, сократилась с 45,0 до 22,4% [8].

В данном случае цифровизация меняет не только размер отдельных статей государственного спроса, но и его содержание: часть расходов перемещается от физической инфраструктуры и традиционных административных процессов к цифровым системам и данным. Одновременно государство само становится крупным заказчиком технологических решений и тем самым влияет на формирование инвестиционного спроса частного сектора.

Еще одно направление связано с внешним спросом. Цифровые технологии снижают значение географической удаленности для целого ряда услуг и формируют новые объекты международной торговли.

По данным Всемирной торговой организации, стоимость глобального экспорта услуг, поставляемых в цифровой форме, в 2024 г. достигла 4,637 трлн долл., что соответствовало 52% мирового экспорта услуг. На цифровые услуги пришлось около 14,5% совокупного мирового экспорта товаров и услуг [9]. Основные изменения обобщены в таблице 1.

Таблица 1

Направления структурных сдвигов совокупного спроса под воздействием цифровизации

№	Компонент совокупного спроса и характер структурных изменений	Макроэкономические последствия
1	Потребительский спрос (C): расширение электронной торговли, цифровых платежей и платформенных моделей; рост доли онлайн-покупок и цифровых услуг; снижение поисковых и транзакционных издержек	Расширение потребительских возможностей, изменение структуры расходов домашних хозяйств, усиление ценовой конкуренции, ускорение перераспределения спроса между товарами и каналами продаж
2	Инвестиционный спрос (I): рост вложений в программное обеспечение, базы данных, искусственный интеллект, облачные вычисления и цифровую инфраструктуру; увеличение роли нематериального капитала	Рост технологической насыщенности инвестиций и производительности, ускорение обновления капитала, повышение зависимости от цифровой инфраструктуры и квалифицированных кадров
3	Государственный спрос (G): увеличение расходов на цифровую инфраструктуру, государственные информационные системы, программное обеспечение, электронные услуги и кибербезопасность	Формирование дополнительного спроса на ИТ-продукты и услуги, стимулирование технологического сектора, изменение структуры государственных расходов
4	Внешний спрос (NX): расширение экспорта и импорта цифровых и дистанционно предоставляемых услуг, увеличение трансграничных цифровых операций	Расширение внешних рынков и экспортных возможностей при одновременном усилении зависимости от импорта программного обеспечения, облачных сервисов и других цифровых ресурсов

Источник: составлено автором.

Представленная взаимосвязь позволяет рассматривать цифровизацию как самостоятельный фактор структурной трансформации совокупного спроса. Ее особенность состоит в одновременном воздействии на все четыре его компонента. При этом направление изменения каждого из них может различаться.

С одной стороны, цифровизация расширяет спрос. Сокращение поисковых и транзакционных издержек облегчает совершение покупок, цифровые платформы увеличивают доступное потребителю множество товаров. С другой стороны, часть наблюдаемого роста представляет собой не создание принципиально нового спроса, а его перераспределение между каналами, товарами, секторами и территориями. Рост электронной торговли сопровождается перераспределением оборота от традиционной розницы к платформам. Увеличение затрат на программное обеспечение может сочетаться со снижением приобретения отдельных видов оборудования. Цифровой импорт способен вытеснять внутреннее производство соответствующих услуг.

Важным макроэкономическим последствием является влияние цифровизации на цены. Новейшее исследование J. Muck, A. Blazejowska, K. Łapszys и K. Szafranek, выполненное на данных 24 европейских экономик и США за 2004–2024 гг., показало статистически значимый дезинфляционный эффект электронной торговли. Согласно полученным оценкам, увеличение распространенности электронной торговли на 1% связано со снижением общей инфляции примерно на 0,03 процентного пункта в краткосрочном периоде и на 0,05 процентного пункта в долгосрочном [10]. Авторы объясняют результат снижением операционных и поисковых издержек, большей прозрачностью цен и усилением конкуренции. Цифровизация одновременно способна поддерживать спрос и оказывать сдерживающее воздействие на цены. Данный процесс усложняет традиционную интерпретацию взаимосвязи между ростом спроса и инфляцией, так как увеличение интенсивности потребительских транзакций может происходить одновременно с усилением ценовой конкуренции. Вместе с тем положительные эффекты цифровизации не исключают формирования дисбалансов. Можно выделить четыре наиболее значимых механизма.

Первый связан с различием скоростей изменения спроса и предложения. Цифровые платформы и платежные технологии позволяют потребительскому спросу практически мгновенно переключаться между продавцами, товарами и территориями. Производственные мощности, логистика и трудовые ресурсы обладают значительно меньшей скоростью адаптации. В результате возникает временной разрыв между структурой спроса и возможностями предложения

Второй механизм обусловлен неравномерностью цифровой трансформации. Крупные компании и развитые территории имеют больше возможностей финансировать программное обеспечение, аналитику данных и искусственный интеллект. Малый бизнес, отдельные регионы и социальные группы могут включаться в цифровую экономику с запаздыванием.

Третий связан с концентрацией инвестиций. Современные данные OECD показывают отсутствие устойчивой конвергенции стран по объему цифрового капитала на одного работника: экономики, уже обладающие значительными запасами цифрового капитала, в ряде случаев продолжают наращивать его быстрее отстающих стран [6].

Четвертый механизм возникает во внешнем секторе. Расширение использования иностранных облачных сервисов, программного обеспечения и цифровой инфраструктуры может сопровождаться увеличением импорта цифровых услуг. Поэтому высокий уровень внутренней цифровизации сам по себе не означает улучшения внешнеэкономических пропорций. На рис. 1 данную взаимосвязь можно представить следующим образом.

Принципиальная особенность современного этапа состоит в том, что цифровизация изменяет не только абсолютную величину расходов экономических субъектов, но и их внутренние пропорции. Поэтому ее макроэкономический эффект не может быть полностью отражен оценкой темпов роста цифрового сектора или доли цифровой экономики в валовом внутреннем продукте.



Рис. 1. Механизм влияния цифровизации на структурные сдвиги совокупного спроса

Источник: составлено автором

Для исследования макроэкономических дисбалансов важнее определить, насколько синхронно меняются компоненты совокупного спроса и способны ли предложение, инвестиционная структура и институциональная среда адаптироваться к этим изменениям. Если цифровизация потребления происходит быстрее цифровизации производства, возникает несоответствие структуры внутреннего спроса и предложения. Если цифровой инвестиционный спрос преимущественно удовлетворяется импортными технологиями и услугами, внутреннее расширение инвестиционной активности способно одновременно усиливать внешний дисбаланс. Если цифровая инфраструктура концентрируется в отдельных секторах и территориях, экономический рост может сопровождаться углублением структурной неоднородности.

Выводы

Проведенное исследование показывает, что цифровизация экономики приобретает значение самостоятельной детерминанты структурных изменений совокупного спроса. Ее

воздействие распространяется на все основные компоненты: потребительский, инвестиционный, государственный и внешний спрос.

Наиболее заметно данный процесс проявляется в потребительской сфере. Расширение электронной торговли и цифровых платежей снижает издержки совершения транзакций, меняет географию потребления и способствует перераспределению расходов между традиционными и цифровыми каналами. Одновременно меняется инвестиционная структура: повышается роль программного обеспечения, баз данных, облачных вычислений и других нематериальных активов. Государство формирует самостоятельный цифровой спрос через развитие электронной инфраструктуры, а во внешнем секторе возрастает значение дистанционно поставляемых услуг.

Макроэкономические последствия этих процессов имеют двойственный характер. Цифровизация способна расширять рынки, повышать эффективность распределения ресурсов, усиливать конкуренцию и создавать условия для роста производительности. В то же время неодинаковая скорость цифровой трансформации отдельных отраслей, территорий и групп экономических субъектов создает предпосылки возникновения новых структурных диспропорций.

Список литературы

1. Ковалева, Г. Г. Затраты организаций на внедрение и использование цифровых технологий в 2025 году / Г. Г. Ковалева, Т. С. Зинина // Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. – 2026. – URL: https://issek.hse.ru/news/1191913678.html (дата обращения: 27.08.2026). – Текст: электронный.

2. Ассоциация компаний интернет-торговли. Интернет-торговля в России по итогам 2025 года. – 2026. – URL: https://akit.ru/news/11-5-trln-rublej-akit-podvela-itogi-internet-torgovli-za-2025-god (дата обращения: 27.08.2026). – Текст: электронный.

3. Банк России. Итоги работы Банка России 2025: коротко о главном. Развитие системы платежей и расчетов. – 2026. – URL: https://www.cbr.ru/about_br/publ/results_work/2025/razvitie-sistemy-platezhey-i-raschetov/ (дата обращения: 27.08.2026). – Текст: электронный.

4. Agarwal, S. Digital payments and consumption: Evidence from the 2016 demonetization in India / S. Agarwal, P. Ghosh, J. Li, T. Ruan // The Review of Financial Studies. – 2024. – Vol. 37, № 8. – P. 2550–2585. – DOI 10.1093/rfs/hhae005.

5. World Bank. The Global Findex Database 2025: Connectivity and Financial Inclusion in the Digital Economy. – Washington, DC : World Bank, 2025. – URL: https://www.worldbank.org/en/publication/globalfindex (дата обращения: 27.08.2026). – Текст: электронный.

6. Gal, P. Business investment in the face of the digital transformation: Initial evidence / P. Gal, J. Hooley, F. Ozturk, F. Unsal // OECD Economics Department Working Papers. – 2026. – № 1859. – Paris : OECD Publishing. – DOI 10.1787/4f89aa3e-en. – URL: https://www.oecd.org/en/publications/business-investment-in-the-face-of-the-digital-transformation_4f89aa3e-en.html (дата обращения: 27.08.2026). – Текст: электронный.

7. Guo, P. Enterprise digital transformation and investment efficiency: Empirical evidence from listed enterprises in China / P. Guo, J. Bi, M. Zhu // Journal of Asian Economics. – 2025. – Vol. 97. – Article 101892. – DOI 10.1016/j.asieco.2025.101892.

8. United Nations. United Nations E-Government Survey 2024: Accelerating Digital Transformation for Sustainable Development with the Addendum on Artificial Intelligence. – New York: United Nations, 2024. – URL: https://publicadministration.desa.un.org/publications/un-e-government-survey-2024-0 (дата обращения: 27.08.2026). – Текст: электронный.

9. World Trade Organization. Global Trade Outlook and Statistics 2025. – Geneva: World Trade Organization, 2025. – URL: https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/trade_outlook25_e.htm (дата обращения: 27.08.2026). – Текст: электронный.

10. Muck, J. On the effect of e-commerce's spread on inflation / J. Muck, A. Blazejowska, K. Lapszys, K. Szafranek // Economics Letters. – 2025. – Vol. 254. – Article 112464. – DOI 10.1016/j.econlet.2025.112464.

УДК 336.763:004.8

ЦИФРОВЫЕ СУКУК ДЛЯ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ: МОДЕЛЬ ПИЛОТНОГО ВЫПУСКА В РОССИИ

Хабибулина Л.Ф., магистрант Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: hale87@mail.ru

DIGITAL SUKUK FOR FINANCING INFRASTRUCTURE PROJECTS: A PILOT ISSUANCE MODEL IN RUSSIA

Khabibulina L.F., Master's student, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia;
E-mail: hale87@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается возможность применения цифровой формы сукук для финансирования инфраструктурных проектов в России. Актуальность темы связана с одновременным развитием рынка цифровых финансовых активов и экспериментального режима партнерского финансирования, а также с необходимостью поиска долгосрочных источников капитала для инфраструктуры. Цель исследования состоит в разработке модели пилотного выпуска цифровых сукук иджара, которая учитывает не только технологический контур, но и правовую связь инвестора с базовым активом. Методологическую основу составили сравнительный анализ, контент-анализ стандартов и официальных материалов, а также сценарное моделирование движения прав, актива и денежных потоков. В качестве зарубежной базы использован опыт Малайзии, где рынок сукук имеет значительный масштаб: в 2025 г. объем сукук в обращении достиг 1 433,02 млрд ринггитов, а корпоративные выпуски составили 140,18 млрд ринггитов. В работе предложена модель, включающая специальную проектную компанию, готовый материальный актив, цифровой реестр, независимую шариатскую экспертизу и контроль внешних данных. Отдельно рассмотрены правовой, технологический, информационный, шариатский и ликвидностный риски. Автор приходит к выводу, что цифровая форма может упростить учет прав и распределение платежей, однако не способна заменить юридическую передачу прав, проверку реального актива и содержательную оценку сделки. Для российского рынка на первом этапе целесообразен ограниченный пилот с понятным активом и небольшим кругом инвесторов. Результаты могут быть использованы при дальнейшей разработке цифровой инфраструктуры партнерского финансирования и при обсуждении специальных механизмов привлечения инвестиций в инфраструктурные проекты.

Ключевые слова: сукук, цифровые финансовые активы, инфраструктурное финансирование, иджара, смарт-контракт, исламские финансы, партнерское финансирование, финтех, Россия, Малайзия

Abstract

The article examines the possibility of using digital sukuk to finance infrastructure projects in Russia. The relevance of the study is associated with the simultaneous development of the Russian digital financial asset market and the experimental regime for partnership finance, as well as with the need to identify long-term sources of capital for infrastructure. The purpose of the study is to develop a pilot model of digital sukuk al-ijarah that takes into account not only the technological environment but also the legal connection between investors and the underlying asset. The methodology combines comparative analysis, content analysis of standards and official documents, and scenario

modelling of rights, assets and cash flows. Malaysia is used as the main international reference because its sukuk market has reached a significant scale: in 2025, sukuk outstanding amounted to RM1,433.02 billion, while corporate sukuk issuance reached RM140.18 billion. The proposed model includes a special-purpose vehicle, a completed tangible asset, a digital registry, independent Shariah review and external data verification. Legal, technological, information, Shariah and liquidity risks are considered separately. The author concludes that a digital format may simplify the registration of rights and the distribution of payments, but it cannot replace the legal transfer of rights, verification of the real asset or substantive review of the transaction. For the Russian market, a limited pilot based on a transparent asset and a restricted group of investors appears more appropriate at the initial stage. The results may be useful for the further development of digital partnership-finance infrastructure and for discussing specialised mechanisms for attracting investment into infrastructure projects.

Keywords: sukuk, digital financial assets, infrastructure finance, ijarah, smart contract, Islamic finance, partnership finance, fintech, Russia, Malaysia

Введение

Инфраструктурные проекты требуют долгосрочного капитала, тогда как обычное банковское кредитование не всегда удобно из-за сроков, стоимости финансирования и концентрации риска. В исламских финансах одним из инструментов привлечения длинных средств являются сукук. Их экономический смысл связан не с процентным долгом как таковым, а с участием инвестора в активе, проекте или разрешенной хозяйственной деятельности [1].

В России тема цифровых сукук находится на стыке двух направлений. С одной стороны, действует законодательство о цифровых финансовых активах (ЦФА) [2]. С другой стороны, продолжается эксперимент по партнерскому финансированию [3]. Пока эти режимы не создают готового механизма выпуска цифровых сукук, но формируют правовую и технологическую базу для пилотных решений.

Цель статьи – предложить модель пилотного цифрового выпуска сукук иджара для инфраструктурного проекта в России и определить основные условия, без которых такой выпуск будет формальным. Объектом исследования выступает механизм цифрового привлечения капитала в исламских финансах, предметом – структура и риски пилотного выпуска сукук иджара в российской цифровой среде.

1. Методика исследования

Информационную базу составили стандарты Accounting and Auditing Organization for Islamic Financial Institutions (AAOIFI), материалы Islamic Financial Services Board (IFSB), Securities Commission Malaysia, Bank Negara Malaysia и Банка России [1; 4–8]. Для оценки современной практики дополнительно использованы англоязычные исследования по рынку сукук [9; 10].

В работе применялись сравнительный анализ, контент-анализ официальных документов и сценарное моделирование. Сравнительный анализ использовался для сопоставления зрелого рынка Малайзии и российского экспериментального режима. Сценарное моделирование позволило описать последовательность движения актива, цифровых прав и арендных платежей.

Ограничение исследования заключается в том, что предложенная конструкция не проходила юридическую экспертизу конкретного выпуска. Поэтому модель рассматривается как вариант для пилотной апробации, а не как готовая эмиссионная документация.

2. Динамика рынка сукук и значение малайзийского опыта

Малайзия остается одной из наиболее развитых юрисдикций исламского рынка капитала. По данным Securities Commission Malaysia, объем сукук в обращении вырос с 1 324,34 млрд ринггитов в 2024 г. до 1 433,02 млрд ринггитов в 2025 г. [5]. Перед рис. 1 приведена именно эта динамика, поскольку она показывает не разовый выпуск, а размер накопленного рынка.

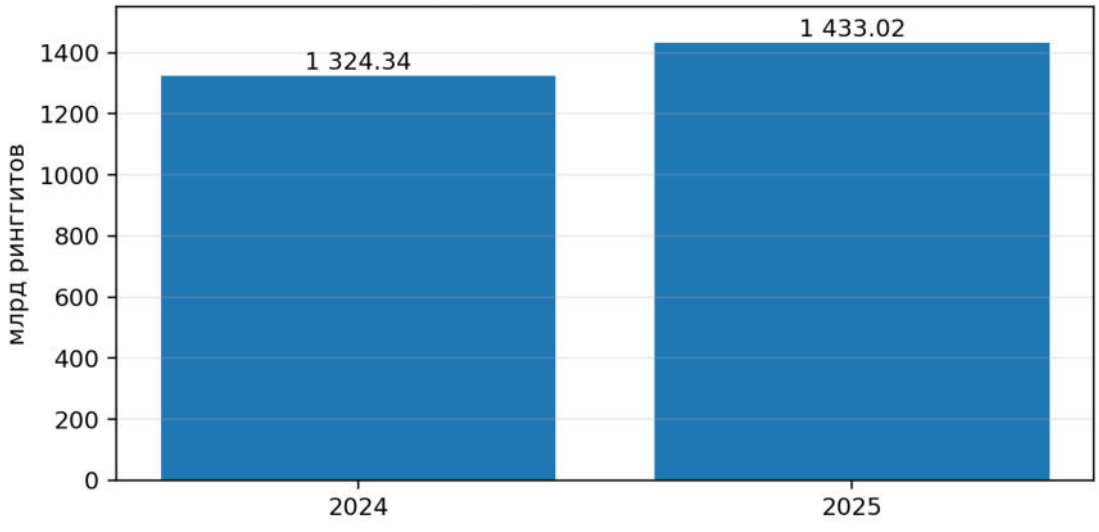


Рис. 1. Объем сукук в обращении в Малайзии в 2024–2025 гг.

Составлено автором по данным Securities Commission Malaysia [5].

Корпоративный сегмент рос еще быстрее: объем новых корпоративных сукук увеличился с 92,32 млрд рингитов в 2024 г. до 140,18 млрд рингитов в 2025 г. [5]. Как видно на рисунке 2, инструмент используется не только государственными структурами, но и корпоративными заемщиками.

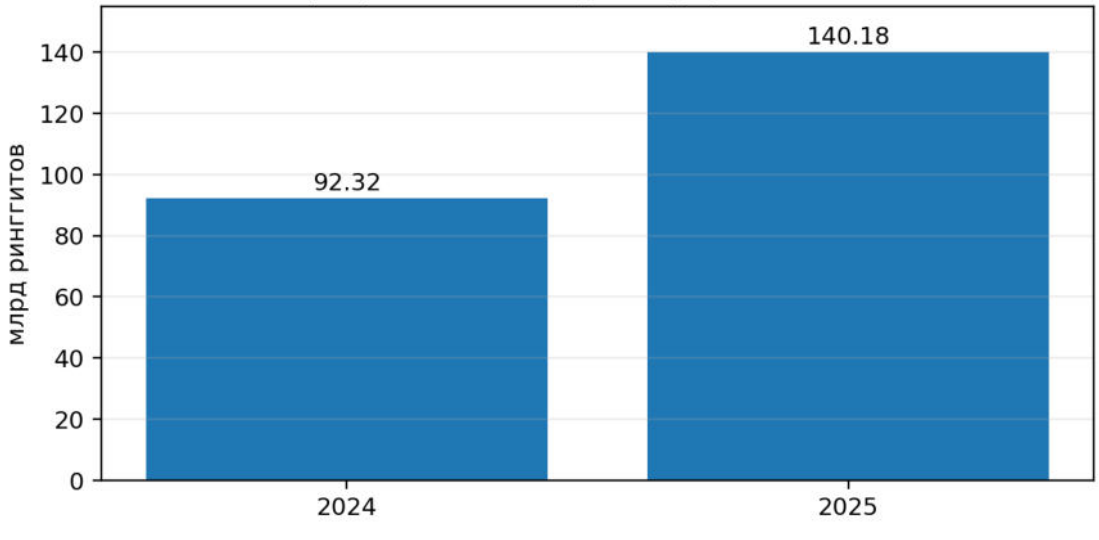


Рис. 2. Корпоративные выпуски сукук в Малайзии в 2024–2025 гг.

Составлено автором по данным Securities Commission Malaysia [5].

Для России эти цифры не являются прогнозом. Скорее, они показывают, что сукук могут стать обычным каналом привлечения капитала, если существует понятная правовая инфраструктура и устойчивая инвесторская база. В 2026 г. малайзийский регулятор дополнительно усилил внимание к соответствию выпусков целям шариата (maqasid al-shariah) [6]. Для цифровых инструментов это особенно важно: технологическая форма не должна подменять анализ экономического содержания.

3. Почему для пилота выбрана структура сукук иджара

Сукук иджара строятся вокруг актива, который передается в аренду. Доход инвесторов формируется из арендных платежей. Для первого пилота такая структура представляется от-

носительно понятной: актив можно независимо оценить, денежный поток можно проследить, а цифровой реестр может фиксировать права и события по договору.

В качестве базового актива целесообразно выбирать уже существующий объект с устойчивым использованием: складской комплекс, транспортное оборудование, энергетическую установку или объект социальной инфраструктуры. На первом этапе нежелательно использовать проект, где актив еще не создан, поскольку к правовым и технологическим рискам добавляется строительный риск.

Специальная проектная компания (SPV) приобретает актив и передает его инициатору проекта в аренду. Цифровой инструмент фиксирует участие инвестора в выпуске. При этом в документации необходимо прямо определить, какие именно права получает инвестор, из какого источника формируются выплаты и что происходит в случае дефолта.

Для сопоставления ключевых элементов пилота они сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Предлагаемая структура пилотного выпуска цифровых сукук иджара

Элемент	Предлагаемое решение	Практическое значение
Базовый актив	Готовый объект недвижимости или оборудование	Можно проверить право собственности и оценить стоимость
Эмитент	Специальная проектная компания (SPV)	Отделяет актив и денежный поток от основной деятельности инициатора
Источник дохода	Арендные платежи	Доход связан с использованием актива
Цифровой реестр	Учет владельцев, ограничений и событий	Повышает прослеживаемость прав
Шариатский контроль	Независимое заключение до выпуска и при существенных изменениях	Снижает риск формального соответствия

4. Функции цифрового реестра и смарт-контракта

Цифровой реестр должен выполнять несколько функций. Во-первых, он фиксирует владельцев инструмента и объем их прав. Во-вторых, хранит информацию о существенных событиях по активу. В-третьих, может использоваться для автоматического распределения арендных платежей.

При этом не все процессы следует автоматизировать. Смарт-контракт работает только с теми данными, которые поступили в систему. Если информация о повреждении актива, прекращении аренды или судебном споре не передана в реестр, программа продолжит выполнять заложенный алгоритм. Поэтому необходимы доверенные источники внешних данных и ответственность за их достоверность.

Шариатское заключение также должно быть связано с цифровым контуром. В системе можно хранить его версию, дату, перечень проверенных документов и условия повторной экспертизы. Однако содержательная шариатская оценка новой ситуации остается задачей эксперта, а не программного кода.

Разграничение автоматизируемых и неавтоматизируемых функций представлено в таблице 2.

Таблица 2

Возможности и ограничения цифровизации операций по сукук

Функция	Что можно автоматизировать	Что требует отдельного решения
Учет прав	Состав владельцев, объем прав, ограничения обращения	Юридическую квалификацию права
Распределение выплат	Расчет и перечисление арендных платежей	Разрешение спора или дефолта
Контроль актива	Хранение данных об оценке, страховании, ремонте	Проверку физического состояния без внешнего источника
Шариатский комплаенс	Хранение заключения и контрольных условий	Новую содержательную оценку сделки

5. Основные риски пилотного выпуска

Ключевым представляется правовой риск. Если инвестор считает, что цифровая запись дает ему долю в активе, а документация фактически создает только денежное требование к проектной компании, возникает расхождение между экономическим ожиданием и юридической реальностью. Цифровая форма сама по себе этот риск не устраняет.

Второй блок связан с технологией: ошибка смарт-контракта, компрометация ключей или временная недоступность системы могут затронуть всех владельцев выпуска. Поэтому необходимы аудит кода, резервирование и заранее описанный порядок восстановления.

Третий блок – информационный риск. Он возникает, когда цифровой реестр получает недостоверные сведения о реальном активе. Для его снижения следует заранее определить поставщиков внешних данных: оценщика, страховщика, технического оператора и аудитора.

Наконец, существует риск ликвидности. Даже технически обращаемый цифровой инструмент может не иметь вторичного спроса. Поэтому для первого выпуска логичнее ограничить объем и круг инвесторов, чем сразу стремиться к массовому размещению.

Сводная оценка рисков и предлагаемых мер приведена в таблице 3.

Таблица 3

Основные риски пилотного выпуска цифровых сукук

Риск	Возможное проявление	Предлагаемая мера
Правовой	Цифровая запись не дает ожидаемых прав на актив	Юридическое заключение и четкая документация
Шариатский	Нарушение последовательности сделки	Независимая экспертиза ключевых событий
Технологический	Ошибка кода или отказ системы	Аудит, резервирование, план восстановления
Информационный	Неверные данные об активе	Ответственные поставщики данных и аудит
Ликвидности	Отсутствие вторичного спроса	Ограниченный пилот и якорные инвесторы

6. Предлагаемый порядок российского пилота

На первом этапе выбирается готовый инфраструктурный актив и инициатор проекта с прозрачной отчетностью. Затем создается SPV и разрабатывается пакет договоров. До про-

граммирования смарт-контракта проводятся юридическая, финансовая, техническая и шариатская экспертизы.

На втором этапе цифровой инструмент размещается среди ограниченного круга инвесторов. Для первого пилота важнее проверить конструкцию, чем привлечь максимально возможную сумму. Оптимальный срок следует устанавливать исходя из срока аренды актива, однако для апробации практических процедур разумным представляется период порядка двух-трех лет.

На третьем этапе оценивается результат. Здесь недостаточно учитывать только доходность и отсутствие дефолта. Следует измерять стоимость подготовки выпуска, длительность согласования, количество ручных операций, число технологических сбоев и качество данных по активу.

Эксперимент по партнерскому финансированию в России продлен до 2028 г. [8]. Это создает временное окно для ограниченных пилотов и накопления фактических данных до принятия долгосрочных решений.

7. Обсуждение результатов

Малайзийский опыт показывает, что сукук способны работать в крупном корпоративном сегменте. Однако этот вывод нельзя механически переносить на Россию. В Малайзии сложилась институциональная база, развит вторичный рынок и существует многолетняя практика шариатского регулирования [4–6].

Поэтому задача российского пилота должна быть более узкой: подтвердить, что юридическая конструкция, цифровой учет и шариатская экспертиза могут работать в одной системе. Если это будет доказано на небольшом выпуске, затем можно рассматривать более сложные структуры и расширение инвесторской базы.

Научно-практическая новизна работы состоит в том, что цифровая система рассматривается не как замена договорной модели, а как механизм фиксации уже проверенной структуры сукук иджара. Такой подход позволяет разделить технологическую эффективность и соответствие принципам исламских финансов.

Выводы

1. Цифровые сукук потенциально могут использоваться для инфраструктурного финансирования в России, однако правовая и шариатская структура сделки должна быть определена до ее автоматизации.

2. Для первого пилота наиболее понятной представляется модель сукук иджара на базе готового материального актива, специальной проектной компании и ограниченного круга инвесторов.

3. Цифровой реестр и смарт-контракт могут сократить число ручных операций и повысить прозрачность, но не заменяют юридическую передачу прав, внешнюю проверку данных и независимую шариатскую экспертизу.

4. Эффективность пилота следует оценивать не только по объему привлеченных средств, но и по стоимости выпуска, срокам подготовки, качеству данных, числу ручных операций и устойчивости цифровой инфраструктуры.

Список литературы

1. Accounting and Auditing Organization for Islamic Financial Institutions. Shari'ah Standard № 17: Investment Sukuk. Manama : AAOIFI, 2023.

2. Российская Федерация. Законы. О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон № 259-ФЗ : принят 31 июля 2020 г.

3. Российская Федерация. Законы. О проведении эксперимента по партнерскому финансированию : Федеральный закон № 417-ФЗ : принят 4 августа 2023 г.

4. Islamic Financial Services Board. Islamic Financial Services Industry Stability Report 2025. Kuala Lumpur : IFSB, 2025.

5. Securities Commission Malaysia. Annual Report 2025. Part 6: Islamic Capital Market Statistics. Kuala Lumpur : Securities Commission Malaysia, 2026.

6. Securities Commission Malaysia. Guidance Note on Sukuk: An Alignment with Maqasid Al-Shariah Guidance Islamic Capital Market Malaysia. Kuala Lumpur : Securities Commission Malaysia, 2026.

7. Bank Negara Malaysia. Annual Report 2025. Kuala Lumpur : Bank Negara Malaysia, 2026.

8. Банк России. Основные направления развития финансового рынка Российской Федерации на 2026 год и период 2027 и 2028 годов. Москва : Банк России, 2025.

9. Hassan M. K., Kazak H., Öner M. H. [et al.]. The impact of sukuk issuances on liquidity, profitability, and asset quality of Islamic banks // Research in International Business and Finance. 2026. Vol. 81.

10. Kuanova L., Kenzhegulova G., Akhmetkyzy A. Research trends in Sukuk studies: a bibliometric analysis // Investment Management and Financial Innovations. 2025. Vol. 22, № 2.

УДК 336.76

ВОПРОСЫ СООТВЕТСТВИЯ НОРМАМ ИСЛАМСКОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ХЕДЖИРОВАНИЯ ДЛЯ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ РАСЧЁТОВ

Цветков А.И., магистрант;
ORCID: 0009-0008-0885-4816;
E-mail: aitsvet@ya.ru;
Кох И.А., д.э.н., доцент, профессор кафедры финансовых рынков и финансовых институтов Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-8170-3925;
E-mail: koch-mail@yandex.ru

COMPLIANCE OF DIGITAL HEDGING INSTRUMENTS FOR FOREIGN-TRADE SETTLEMENTS WITH ISLAMIC FINANCE NORMS

Tsvetkov A.I., master's student;
ORCID: 0009-0008-0885-4816;
E-mail: aitsvet@ya.ru;
Kokh I.A., doctor of economics, associate professor, professor of the Department of Financial Markets and Financial Institutions, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-8170-3925;
E-mail: koch-mail@yandex.ru

Аннотация

Статья формирует вопросы для экспертной оценки цифровых инструментов обмена валют и хеджирования во внешнеторговых расчётах с контрагентами, которые соблюдают нормы исламского финансирования. Актуальность работы связана с тем, что российское право расширяет возможность расчётов в цифровых активах, но правовая допустимость расчёта не определяет его шариатскую квалификацию, и одна программная операция может оцениваться

по-разному в зависимости от договора, права распоряжения или порядка возмещения убытка. Практический интерес к этой проблеме подтверждается активностью рынков цифровых активов в странах Азии, Африки и Ближнего Востока, которые авторы рассматривали в предшествующих работах в связи с российской внешней торговлей. Цель статьи состоит в разграничении положений, которые непосредственно следуют из шариатских стандартов Организации бухгалтерского учёта и аудита исламских финансовых учреждений (AAOIFI), и вопросов, где применение этих положений к новым техническим фактам требует экспертной оценки. Материалом служат три опубликованные работы о поставочном хеджировании, цифровой адаптации рамочного соглашения о хеджировании и о пуле ликвидности, из которого участник внешней торговли автоматически получает одну цифровую валюту в обмен на другую. Представлены шесть вопросов о вступлении во владение при атомарной и кастодиальной передаче цифрового актива, квалификации пула как партнёрства (мушараки), признании электронного сообщения с криптографической подписью односторонним обязывающим обещанием (ва'адом) и применении обеспечения (хамиш джиддия), размер которого автоматически рассчитывает программа. Преамбулы вопросов связывают участников каждой сделки, последовательность действий, движение активов и основание правовой квалификации. Методика опроса предусматривает когнитивную проверку формулировок, несколько анонимных раундов Дельфи и последующее ранжирование допустимых вариантов. Практическая ценность статьи состоит в том, что протокол позволяет заранее установить, какие свойства цифровой конструкции должны быть подтверждены до передачи конкретного продукта на шариатскую экспертизу, а какие вопросы требуют изменения договора или технической реализации.

Ключевые слова: шариатские стандарты AAOIFI; исламские финансы; хеджирование; внешнеторговые расчёты; цифровые валюты; финтех; смарт-контракт; сарф; мушарака; экспертный опрос

Abstract

The paper formulates questions for expert assessment of digital instruments of currency exchange and hedging in foreign-trade settlements with counterparties that observe Islamic finance rules. The work is relevant because Russian law widens settlement in digital assets, while legal admissibility does not determine its Shari'ah qualification, and one program operation may be assessed differently depending on the contract, the right of disposal, or the order of compensating loss. Digital-asset activity in Asian, African, and Middle Eastern markets the authors examined in preceding studies of Russian foreign trade confirms the practical interest in the problem. The aim is to distinguish propositions that follow directly from the Shari'ah Standards of the Accounting and Auditing Organization for Islamic Financial Institutions (AAOIFI) from questions where applying them to new technical facts requires expert assessment. The material comprises three published studies of supply hedging, the digital adaptation of a hedging master agreement, and a liquidity pool from which a foreign-trade participant automatically receives one digital currency in exchange for another. Six questions concern possession in atomic and custodial transfer of a digital asset, qualification of the pool as a partnership (musharakah), recognition of a cryptographically signed electronic message as a unilateral binding promise (wa'ad), and the use of security (hamish jiddiyyah) whose amount a program calculates automatically. The preambles link the participants in each transaction, the sequence of actions, asset movements, and the basis of legal qualification. The survey procedure provides cognitive testing of the wording, several anonymous Delphi rounds, and ranking of permissible variants. The practical value is a protocol that establishes in advance which properties of a digital construction must be confirmed before a product is referred for Shari'ah review, and which questions require changing the contract or the technical implementation.

Keywords: AAOIFI Shari'ah Standards; Islamic finance; hedging; foreign-trade settlements; digital currencies; fintech; smart contract; sarf; musharakah; expert survey

Введение

Федеральный закон от 4 августа 2026 года № 282-ФЗ «О цифровых валютах и цифровых правах» с 1 сентября 2026 года разрешает использовать цифровую валюту и цифровые права как встречное предоставление по внешнеторговым договорам с нерезидентами [1]. Однако правовая возможность расчёта не определяет допустимую конструкцию обмена и управления риском для контрагента, который считает соблюдение шариата условием сделки.

Российский экспорт переориентируется на рынки Азии и Африки, среди которых авторы называли Египет, Объединённые Арабские Эмираты, Саудовскую Аравию, Иран, Алжир, Ливан, Турцию, Южно-Африканскую Республику, Малайзию и Индонезию [2]. Отчёт Chainalysis за 2025 год включает большинство этих стран в глобальный индекс принятия цифровых активов, где Индонезия занимает седьмое место, Турция четырнадцатое, Россия десятое [3]. Эти данные показывают распространение цифровых расчётов в юрисдикциях, для которых соблюдение шариата может быть существенным условием сделки.

В предшествующих работах авторы предложили механизм с применением пула ликвидности, который обеспечивает участникам внешней торговли автоматический обмен одной цифровой валюты на другую [4], адаптировали рамочное соглашение о хеджировании к цифровой среде посредством одностороннего обещания (ва‘ад) и последующего обмена валют (сарф) [2], а также построили поставочный хедж на договоре полной оплаты товара до его будущей поставки (салям) и договоре изготовления вещи на заказ (истисна) в форме утилитарных цифровых прав [5]. Авторы соотнесли элементы этих конструкций со стандартами AAOIFI [6], но не проверяли эмпирически, согласны ли российские специалисты с таким применением норм.

Потребность в такой проверке связана с собственной регуляторной историей российского исламского финансирования. В частности, совет улемов Духовного управления мусульман Российской Федерации в богословском заключении № 4/23 отвергает приобретение биткойна для сбережения и инвестиций из-за чрезмерной неопределённости и спекулятивного риска. Расчётную функцию цифровой валюты Совет допускает только при одновременном выполнении пяти условий, к которым относятся статус денежной единицы, признаваемая шариатом ценность, способность сохранять стоимость при низкой волатильности, признание государством в качестве законного платёжного средства и широкое применение [7]. Поэтому разрешение цифровых расчётов российским законом представляет собой необходимое правовое основание, но не заменяет шариатскую квалификацию конкретной конструкции.

В работе о цифровой адаптации рамочного соглашения [2] положения стандарта № 38 о сделках через Интернет были применены к смарт-контракту по функциональной аналогии. Стандарт разрешает заключать имущественные договоры через Интернет (п. 2.2), но самостоятельной квалификации смарт-контракта не даёт. Вступление во владение по такому договору наступает любым из общепринятых способов (п. 7.1), которые перечисляет стандарт № 18, а не определяется названием механизма. Отдельного стандарта о смарт-контрактах AAOIFI пока не издала. Совет по управлению и этике 7 октября 2025 года рассмотрел предварительное исследование такого стандарта и поручил секретариату подготовить проект для публичного обсуждения [8]. Для рамочного соглашения также следует различать случаи одного одностороннего обещания и двух встречных обещаний, которые не обусловлены взаимным исполнением.

В той же работе [2] ограничение удержания обеспечения следует связывать с пп. 6.8.2–6.8.3 стандарта № 5 «Обеспечение исполнения обязательств». Эти пункты разрешают покрыть только фактический ущерб и различают гарантийный депозит серьёзности намерения (хамиш джиддия) и задаток после заключения договора.

Предметом фиксированной платы могут служить создание и обслуживание инфраструктуры, поскольку стандарт № 20 допускает обязывающее обещание продать или купить только без вознаграждения за такое обещание (п. 5.2.3.3), а плату за определённый результат регулирует стандарт № 15 «Обещание вознаграждения (джу‘аля)».

Методика опроса

Методика строится как последовательный экспертный опрос, в котором прямое требование стандарта служит основанием вопроса, а оценке подлежит его применение к новому техническому или правовому факту. При подготовке каждого вопроса проверяются источник требования, основание предлагаемой квалификации и достаточность фактического описания в цитируемых работах.

На подготовительном этапе планируется провести от восьми до двенадцати индивидуальных интервью и когнитивный претест формулировок. После этой проверки окончательные тексты шести вопросов и план анализа регистрируются до получения ответов основной панели. В неё предполагается включить от 25 до 40 российских специалистов, которые не менее трёх лет работают в исламском финансировании, шариатской экспертизе либо регулировании цифровых активов, и каждый респондент последовательно отвечает на все шесть вопросов.

Панель предлагается сформировать целевым отбором с последующим приглашением кандидатов по рекомендациям участников не более чем в две итерации. До включения должно быть проверено соответствие критерию опыта, а респондент сообщает о членстве в шариатских советах и отраслевых организациях. Каждому участнику присваивается код, а список соответствия кодов именам хранится отдельно от ответов, поэтому индивидуальные оценки и авторство комментариев остаются конфиденциальными.

Для каждого вопроса предусмотрены ответы «допустимо», «условно допустимо», «недопустимо», «мнение не сформировано» и «вне компетенции». При выборе условной допустимости респондент указывает недостающее условие. Отдельная пятибалльная шкала фиксирует уверенность в оценке, а поле свободного комментария позволяет привести основание ответа.

Основной этап включает не менее двух анонимных раундов метода Дельфи. После первого раунда каждому участнику предоставляются распределение ответов и анонимное сводное изложение оснований позиций, после чего он может сохранить или пересмотреть свою оценку. Ответы «мнение не сформировано» и «вне компетенции» учитываются отдельно и не включаются в расчёт согласия. Порог согласия предлагается принять на уровне 70% ответивших по одной содержательной категории при не более чем 15 процентах ответов в противоположной категории, как согласие определяют методические руководства по многосторонним опросам Дельфи [9]. Устойчивым результат считается при совпадении такой категории в двух последовательных раундах. Полное распределение ответов и уровней уверенности должно быть сохранено в итоговых материалах опроса.

Варианты реализации, для которых сумма ответов «допустимо» и «условно допустимо» достигает 70 процентов, предлагается передать для попарного ранжирования методом анализа иерархий респондентам, которые завершили раунды Дельфи. Сравнение может проводиться по шариатской строгости, технической реализуемости, устойчивости к ограничениям расчётной инфраструктуры, риску контрагента и экономической эффективности. Для каждого респондента может быть проверен коэффициент согласованности попарных оценок, а итоговые приоритеты объединены посредством геометрического среднего.

Данная экспертная оценка может описывать условия применимости конструкции и не заменяет заключение шариатского совета по конкретному продукту или юридическое оформление сделки.

Вопросы экспертной оценки

В механизме обмена через пул ликвидности [4] исполнение сделки может быть организовано как атомарная транзакция. По стандарту № 1 такой обмен действителен только тогда, когда каждая сторона получила свою валюту целиком и до того, как стороны разошлись (пп. 2.1.1, 2.6.1). Если сторона получила лишь часть суммы, сделка сохраняет действительность в этой части и теряет её в остальной (п. 2.6.2). Стандарт № 18 признаёт презюмируемым владением (кабд), в частности, зачисление денежных средств на банковский счёт получателя (п. 5.3). При атомарной транзакции два перевода включаются в одну операцию распределён-

ного реестра, поэтому сеть либо окончательно записывает оба перевода, либо не записывает ни одного.

Вопрос 1. Можно ли считать такую атомарную транзакцию вступлением обеих сторон во владение обмениваемыми цифровыми активами, если сразу после записи каждая сторона может самостоятельно и без дополнительного согласия контрагента распорядиться активом, который она получила?

Под самостоятельно контролируемым адресом понимается идентификатор в распределённом реестре, для которого клиент единолично контролирует ключ подписи и может распорядиться связанным с ним активом без разрешения оператора. Для проверки границ реализации того же механизма [4] рассматривается кастодиальный учёт. Оператор хранит активы на своих адресах, а сделка сначала меняет остатки во внутреннем реестре клиентов. Клиент может немедленно совершать новые операции внутри системы, но вывод актива на адрес клиента во внешний реестр производится позднее.

Вопрос 2. Возникает ли требуемое владение в момент изменения внутренней записи, если клиент уже вправе распорядиться активом внутри системы, но ещё не может немедленно получить его на самостоятельно контролируемый адрес?

В поставочном хедже на договорах салям и истисна [5] запись об утилитарном цифровом праве удостоверяет право требовать передачу определённой партии физического товара, а не владение цифровой валютой. Стандарт № 18 требует индивидуализировать движимое имущество и предоставить беспрепятственный доступ либо выдать товарный документ, который идентифицирует товар и даёт право им распорядиться (пп. 3.3, 3.5). В российской литературе также подчёркивается, что одной записи о токене недостаточно без перехода имущественных прав и документированной связи с активом [10].

Вопрос 3. Возникает ли владение определённой партией товара, если запись указывает партию и место хранения, держатель записи вправе потребовать выдачу или распорядиться товаром, а применимые правила приравнивают передачу этой записи к передаче документа, который позволяет распоряжаться товаром?

Пул ликвидности, предложенный в [4], обеспечивает автоматический обмен цифровых валют для внешнеторговых расчётов. Стандарт № 12 «Партнёрство (мушарака) и современные компании» предусматривает внесение капитала в денежной форме, допускает неденежный вклад после его оценки и согласия партнёров, требует оценивать вклады в разных валютах по текущему курсу, распределять прибыль по согласованной пропорции и относить убыток на партнёров пропорционально вкладам (пп. 3.1.2.1–3.1.2.2, 3.1.5.1, 3.1.5.4). Партнёры вносят в пул две валюты, стоимость вкладов определяется по текущему курсу, а цифровая запись удостоверяет долю каждого партнёра. При обмене трейдер передаёт в пул одну валюту и получает из него другую. Заданный оператором механизма программный код совершает эти сделки без отдельного согласования каждой операции, поэтому соотношение валют в общем капитале постоянно меняется. Вознаграждение за обмен, которое уплачивает трейдер, поступает в пул, прибыль распределяется по согласованной пропорции, убыток относится на партнёров пропорционально вкладам, а при выходе партнёр получает свою долю из пула.

Вопрос 4. Позволяет ли совокупность этих условий квалифицировать пул как мушараку по стандарту № 12, если партнёры заранее согласовали правила работы программы и распределения прибыли и убытка, не утверждают каждый обмен отдельно, а состав общего капитала меняется после сделок с трейдерами?

В цифровой адаптации рамочного соглашения о хеджировании [2] провайдер создаёт одностороннее обещание (ва‘ад) в форме электронного сообщения с криптографической подписью. Стандарт № 49 различает необязывающее намерение и одностороннее обязывающее обещание, которое связывает обещавшего и оставляет получателю право выбора (п. 3.5). Обещанный договор заключается отдельными офертой и акцептом в установленный срок (п. 3.8). Сообщение содержит адрес (идентификатор в распределённом реестре) провайдера,

активы, суммы, обещанный курс, срок исполнения, идентификатор сети и уникальный номер, который не позволяет использовать подпись повторно. Программа проверяет, что подпись создана ключом этого адреса и относится точно к названному набору параметров. Отдельная процедура связывает адрес с личностью провайдера и подтверждает его полномочия. Подпись не переводит активы и не заключает будущий сарф. Экспортёр не подписывает встречного обещания и сохраняет право отказаться. Если он решает воспользоваться обещанием, стороны совершают отдельные оферту и акцепт, после чего активы передаются атомарно.

Вопрос 5. Можно ли квалифицировать сообщение с криптографической подписью провайдера как односторонний обязывающий ваʿад по стандарту № 49, если личность и полномочия владельца ключа подтверждены, все существенные параметры будущего обмена определены, экспортёр не принимает встречного обязательства, а договор сарф заключается отдельно только в момент исполнения?

В той же адаптации рамочного соглашения [2] провайдер передаёт цифровой актив в смарт-контракт для обеспечения обещания. Ценовой оракул сообщает наблюдаемый рыночный курс обмена, а программа сравнивает его с обещанным курсом. При неисполнении она рассчитывает расходы на обмен взамен обещанного как разницу между стоимостью согласованного объёма по двум курсам. Получателю обещания передаётся только сумма этой разницы, а остаток обеспечения возвращается обещавшему, поскольку договор исключает удержание штрафа, упущенной выгоды или всего обеспечения.

Вопрос 6. Допустимо ли квалифицировать такое обеспечение по стандарту № 5 как хамиш джиддия, то есть гарантийный депозит, подтверждающий серьёзность намерения, если смарт-контракт ограничивает выплату фактическими расходами на замещающий обмен, источник рыночного курса заранее согласован и проверяем, а размер убытка может быть оспорен до окончательного перечисления?

Заключение

Протокол включает шесть вопросов об обмене цифровых активов при атомарном и кастодиальном учёте, удостоверении права на физический товар цифровой записью, пуле ликвидности на основе мушараки и исполнении одностороннего ваʿада с обеспечением, размер которого автоматически рассчитывает программа. В преамбуле каждого вопроса норма стандарта сопоставляется с определённым способом учёта, передачи актива или распределения результата.

Научное значение протокола состоит в разграничении прямых положений стандартов AAOIFI и случаев, где требуется экспертная квалификация нового технического или правового факта в контексте предложенных инструментов обмена валют и хеджирования во внешнеторговых расчётах с контрагентами. Практическое применение предложенных вопросов позволит установить условия, при которых конструкция может быть передана шариатскому совету для оценки конкретного продукта, а также выявить элементы договора или технической реализации, требующие изменения. Единый состав вопросов и раздельная фиксация оценки и уверенности должны обеспечить сопоставимость ответов респондентов.

Список литературы

1. Федеральный закон от 04.08.2026 № 282-ФЗ «О цифровых валютах и цифровых правах» // Официальный интернет-портал правовой информации. – 04.08.2026. – № 0001202608040007. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202608040007 (дата обращения: 31.08.2026).

2. Цветков А. И., Кох И. А. Перспективы применения соглашения о хеджировании для расчётов в цифровых валютах по внешнеторговым контрактам в соответствии с нормами исламского права // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2026. – № 5 (135). – С. 444–452. – DOI 10.24412/2411-0450-2026-5-444-452.

3. The 2025 Geography of Crypto Report / Chainalysis. – 2025. – URL: https://go.chainalysis.com/2025-geography-of-cryptocurrency-report.html (дата обращения: 31.08.2026).

4. Кох И. А., Цветков А. И. Механизм обмена криптовалют для расчётов по внешнеторговым контрактам в соответствии с нормами исламского права // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2026. – Т. 3, № 5. – С. 117–124. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2026.05.03.013.

5. Цветков А. И. Хеджирование товарного риска на основе утилитарных цифровых прав с применением договоров салям и истисна // Вектор экономики. – 2026. – № 8. – URL: http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2026/8/financeandcredit/Tsvetkov.pdf (дата обращения: 31.08.2026).

6. Шариатские стандарты (1–61): полный текст шариатских стандартов Организации бухгалтерского учёта и аудита исламских финансовых учреждений / AAOIFI. – Москва: Читай, 2022. – 976 с. – ISBN 978-5-6045994-9-5.

7. Богословское заключение № 4/23 «О криптовалюте и блокчейне» / Совет улемов ЦРО «Духовное управление мусульман Российской Федерации». – 2023. – URL: https://umma.ru/fetva-o-kriptovalyute-i-blokcheine (дата обращения: 31.08.2026).

8. AAOIFI Governance and Ethics Board (AGEB) approves, in principle, the issuance of two standards on auditing and assurance (SOAAs) / AAOIFI. – 2025. – 7 October. – URL: https://aaoifi.com/announcement/aaoifi-governance-and-ethics-board-ageb-approves-in-principle-the-issuance-of-two-standards-on-auditing-and-assurance-soaas/?lang=en (дата обращения: 31.08.2026).

9. Manyara A. M., Purvis A., Ciani O., Collins G. S., Taylor R. S. Sample size in multistakeholder Delphi surveys: at what minimum sample size do replicability of results stabilize? // Journal of Clinical Epidemiology. – 2024. – Vol. 174. – Article 111485. – DOI 10.1016/j.jclinepi.2024.111485.

10. Морозов А. А. Применение шариатских стандартов AAOIFI при оценке соответствия цифровых финансовых активов исламскому праву // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2026. – Т. 4, № 7. – С. 259–268. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2026.07.04.025.

УДК 657.635:004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АУДИТЕ И ВНУТРЕННЕМ КОНТРОЛЕ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Шайдуллина А.Р., студент кафедры «Учёт, анализ и аудит» ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова», г. Казань, Россия;
E-mail: ShaidullinaA.R@yandex.ru

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN AUDIT AND INTERNAL CONTROL OF NONPROFIT ORGANIZATIONS

Shaidullina A.R., student of the Accounting, Analysis and Audit Department of Kazan V.G. Timiryasov Kazan Innovation University, Kazan, Russia;
E-mail: ShaidullinaA.R@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена изучению возможностей применения технологий искусственного интеллекта в аудиторской деятельности и системе внутреннего контроля некоммерческих организаций. Актуальность темы обусловлена ростом требований к прозрачности целевого использования средств грантов, пожертвований и субсидий, а также переходом некоммерческого сектора на цифровые форматы взаимодействия с государственными органами. Целью исследования является анализ мирового, российского и регионального (на примере Республики Татарстан) опыта внедрения искусственного интеллекта в аудиторские и контрольные процедуры некоммерческих организаций, а также разработка рекомендаций по адаптации со-

ответствующих технологий к специфике сектора. В работе применены методы сравнительного и системного анализа, обобщения научной литературы и статистических данных. Установлено, что зарубежные аудиторские компании уже используют платформы на основе искусственного интеллекта для анализа больших объемов транзакций и выявления аномалий, тогда как в России и в некоммерческом секторе внедрение подобных технологий остается ограниченным. Показано, что цифровизация отчетности некоммерческих организаций Республики Татарстан создает предпосылки для последующей интеграции интеллектуальных систем контроля. Сделан вывод о необходимости формирования гибридной модели аудита, в которой искусственный интеллект выполняет функцию инструмента поддержки профессионального суждения аудитора, а итоговая ответственность сохраняется за специалистом. Результаты исследования могут быть использованы при разработке методических рекомендаций по совершенствованию учетно-контрольных процедур в некоммерческих организациях.

Ключевые слова: искусственный интеллект, аудит, внутренний контроль, некоммерческие организации, цифровизация, целевое финансирование, машинное обучение

Abstract

The article examines the possibilities of applying artificial intelligence technologies in audit activities and the internal control system of nonprofit organizations. The relevance of the topic is driven by growing requirements for transparency in the targeted use of grants, donations and subsidies, as well as the transition of the nonprofit sector to digital formats of interaction with government authorities. The purpose of the study is to analyze global, Russian and regional (using the example of the Republic of Tatarstan) experience in implementing artificial intelligence in audit and control procedures of nonprofit organizations, and to develop recommendations for adapting relevant technologies to the specifics of the sector. Methods of comparative and systemic analysis, generalization of scientific literature and statistical data are applied. It is established that foreign audit companies already use artificial intelligence based platforms to analyze large volumes of transactions and detect anomalies, while in Russia and in the nonprofit sector the implementation of such technologies remains limited. It is shown that the digitalization of reporting of nonprofit organizations of the Republic of Tatarstan creates preconditions for the subsequent integration of intelligent control systems. A conclusion is drawn about the need to form a hybrid audit model in which artificial intelligence serves as a tool supporting the professional judgment of the auditor, while final responsibility remains with the specialist. The results of the study can be used in developing methodological recommendations for improving accounting and control procedures in nonprofit organizations.

Keywords: artificial intelligence, audit, internal control, nonprofit organizations, digitalization, targeted financing, machine learning

Введение

Некоммерческие организации занимают особое место в структуре гражданского общества, обеспечивая реализацию социальных, культурных, благотворительных и иных общественно значимых целей. Специфика их деятельности связана с использованием целевого финансирования, включающего гранты, пожертвования и субсидии, что предъявляет повышенные требования к прозрачности учета и контроля. Ошибки или недобросовестное использование целевых средств способны подорвать доверие доноров и общества, поэтому вопросы совершенствования учетно-контрольных процедур в некоммерческом секторе приобретают особую значимость.

Одновременно с этим цифровая трансформация экономики затрагивает и некоммерческий сектор. С января 2026 г. некоммерческие организации Республики Татарстан, как и по всей стране, обязаны представлять годовую отчетность в Министерство юстиции исключительно в электронном формате, что подтверждает переход отрасли к цифровым инструментам взаимодействия [1]. В этих условиях технологии искусственного интеллекта, уже доказавшие

эффективность в аудите коммерческих организаций, представляют интерес для адаптации к специфике некоммерческого сектора.

Целью настоящего исследования является анализ применения искусственного интеллекта в аудиторской деятельности и внутреннем контроле некоммерческих организаций с учетом мирового, российского и регионального опыта, а также обоснование направлений адаптации подобных технологий к особенностям сектора.

Методика

В исследовании использованы общенаучные методы: сравнительный анализ, систематизация и обобщение данных научной литературы, аналитических отчетов международных аудиторских компаний и статистических материалов. Для сопоставления мирового, российского и регионального опыта применен метод компаративного анализа, позволяющий выявить общие тенденции и специфические особенности внедрения искусственного интеллекта в аудит некоммерческого сектора.

Основная часть

Мировой опыт применения искусственного интеллекта в аудите является наиболее развитым и системным. Крупнейшие международные аудиторские компании внедрили собственные платформы: GL.ai в компании PricewaterhouseCoopers (PwC), Contract Intelligence в компании KPMG International (KPMG), инструменты предиктивной аналитики в компании Deloitte Touche Tohmatsu Limited (Deloitte), решения на основе роботизированной автоматизации процессов в Ernst & Young (EY) [2]. Согласно данным KPMG International, почти три четверти компаний уже применяют искусственный интеллект в области финансовой отчетности, а доля организаций, планирующих внедрение генеративного искусственного интеллекта в ближайшие три года, достигает 57% [3]. По оценке компании Deloitte Touche Tohmatsu Limited, применение искусственного интеллекта позволяет сократить время анализа данных на 40 процентов, а по данным PricewaterhouseCoopers точность обнаружения аномалий при использовании интеллектуальных систем достигает 90% [4].

Отдельным направлением мирового опыта является применение искусственного интеллекта непосредственно в некоммерческом секторе. Зарубежные исследования показывают, что искусственный интеллект способен подтверждать соответствие финансовых записей действующим нормативам, снижая риск несоответствия при подготовке к аудиторской проверке некоммерческой организации [5]. Отмечается также, что для малых некоммерческих организаций внедрение интеллектуальных агентов в бухгалтерские функции повышает точность данных и снижает трудозатраты, однако сопровождается сложностями, связанными с защитой данных, подготовкой персонала и этическими аспектами применения технологий [6].

Российский опыт внедрения искусственного интеллекта в аудит развивается менее интенсивно, чем мировой, но демонстрирует положительную динамику. По данным Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, к 2025 г. доля автоматизируемых операций в аудите достигла 65 процентов, а число компаний, использующих искусственный интеллект в аудиторской деятельности, с 2018 по 2024 г. выросло в 30 раз [7]. Одновременно исследование FinExpertiza на основе данных Росстата показывает, что по итогам 2024 г. технологии искусственного интеллекта применяли лишь около 6 процентов российских организаций, тогда как доля компаний, использующих генеративный искусственный интеллект хотя бы в одной бизнес-функции, достигла 71% к 2025 г. [8]. Наиболее сдержанное распространение искусственного интеллекта наблюдается в сферах государственного управления и социального обеспечения, к которым в значительной степени примыкает некоммерческий сектор.

В российской практике внутреннего аудита формируется понимание необходимости системного подхода к контролю за применением интеллектуальных моделей, включающего проверку качества исходных данных, корректности работы алгоритмов на этапе внедрения и последующий мониторинг результатов их использования с точки зрения точности, надежности и соответствия регуляторным требованиям [9]. Подобный подход применим и к неком-

мерческим организациям, где искусственный интеллект может использоваться для анализа целевого расходования средств, проверки соответствия расходов условиям грантовых договоров и выявления отклонений в первичной документации.

Региональный опыт Республики Татарстан представляет интерес как пример территории с высоким уровнем цифровой зрелости. По итогам 2025 г. уровень цифровизации государственного управления региона превысил 95%, а республика продолжает реализацию программы цифровой трансформации с ежегодным финансированием более 1 млрд рублей на прорывные информационные технологии [10]. Переход некоммерческих организаций региона на обязательную электронную отчетность перед Министерством юстиции с 2026 г. формирует единую цифровую базу данных, которая в перспективе может стать основой для применения интеллектуальных систем анализа отчетности и раннего выявления рисков нарушений.

Сопоставление трех уровней анализа позволяет выделить общую закономерность: чем выше степень цифровизации отчетности и учетных процессов, тем более благоприятны условия для внедрения искусственного интеллекта в контрольные процедуры. Мировой опыт демонстрирует зрелые технологические решения, доступные крупным аудиторским компаниям и корпоративному сектору. Российский опыт характеризуется быстрым ростом интереса к генеративному искусственному интеллекту при сохраняющемся невысоком общем уровне внедрения, особенно в бюджетной и социальной сферах. Региональный опыт Татарстана показывает, что цифровая инфраструктура, создаваемая для целей отчетности, способна стать точкой роста для последующей интеграции интеллектуальных инструментов контроля именно в некоммерческом секторе.

Для некоммерческих организаций можно выделить следующие перспективные направления применения искусственного интеллекта в учетно-контрольной деятельности:

– автоматизированная проверка соответствия расходования грантовых средств условиям договоров;

– выявление аномалий в первичных документах и банковских операциях с использованием алгоритмов машинного обучения;

– обработка текстовой информации, включая уставные документы, отчеты о деятельности и переписку с донорами, средствами обработки естественного языка;

– формирование предиктивных оценок риска нарушения условий целевого финансирования на основе исторических данных.

Внедрение подобных решений в некоммерческом секторе сопряжено с рядом ограничений. Во-первых, большинство некоммерческих организаций обладают существенно меньшими финансовыми и кадровыми ресурсами по сравнению с коммерческими структурами, что затрудняет приобретение и обслуживание специализированных программных продуктов. Во-вторых, качество и структурированность первичных данных в некоммерческом секторе часто ниже, чем в коммерческих организациях, что снижает эффективность работы алгоритмов машинного обучения. В-третьих, остаются нерешенными вопросы ответственности за ошибки автоматизированных систем и необходимости сохранения профессионального суждения аудитора при принятии итоговых решений.

Выводы

Проведенный анализ мирового, российского и регионального опыта показывает, что искусственный интеллект обладает значительным потенциалом для совершенствования аудита и внутреннего контроля некоммерческих организаций, однако степень его практического применения существенно различается по уровням анализа. Мировая практика демонстрирует зрелые технологические решения крупных аудиторских компаний, российская практика находится на этапе активного роста интереса к генеративному искусственному интеллекту при умеренном общем уровне внедрения, а региональный опыт Республики Татарстан формирует цифровую инфраструктуру, которая может стать основой для дальнейшей интеграции интеллектуальных систем контроля в некоммерческом секторе.

Для эффективного внедрения искусственного интеллекта в учетно-контрольную деятельность некоммерческих организаций целесообразно формирование гибридной модели, при которой алгоритмы выполняют функцию анализа больших объемов данных и выявления аномалий, а итоговое профессиональное суждение и ответственность остаются за аудитором или специалистом внутреннего контроля. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку методики оценки готовности некоммерческих организаций к внедрению интеллектуальных систем контроля с учетом ограниченности их ресурсов.

Список литературы

1. Управление Министерства юстиции Российской Федерации по Республике Татарстан. С 2026 года все НКО Татарстана отчитываются в электронном формате. Текст: электронный // Официальный портал Республики Татарстан: сайт. – Казань, 2026. – URL: https://oprt.tatarstan.ru/index.htm/news/2490959.htm (дата обращения: 24.07.2026).

2. Кузнецова, О. В. Применение искусственного интеллекта в сфере финансовой отчетности и аудита / О. В. Кузнецова // Материалы международной научной конференции. Текст: непосредственный – Минск : Издательский центр БГУ, 2025. – С. 111-114.

3. KPMG International. ИИ в сфере финансовой отчетности и аудита: новая эра: аналитический отчет. Текст: электронный. – Алматы : KPMG в Казахстане, 2024. – 24 с.

4. PricewaterhouseCoopers: официальный сайт. Лондон, 2024. – URL: https://www.pwc.com (дата обращения: 24.07.2026). – Текст: электронный.

5. Marcum LLP. How AI can help nonprofits prepare for an upcoming audit. Текст: электронный // LinkedIn Pulse: сайт. – 2025. – URL: https://ru.linkedin.com/pulse/how-ai-can-help-nonprofits-prepare-upcoming-audit-marcum-llp-xqxce (date of access: 24.07.2026).

6. AI agents and automation in small non profit organizations accounting functions: working paper. Текст: электронный // SSRN Electronic Journal. 2025. 21 p. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5082437 (date of access: 24.07.2026).

7. Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. Искусственный интеллект в аудите: как меняется профессия. Текст: электронный // Официальный сайт Финансового университета. Москва, 2025. – URL: https://www.fa.ru/university/structure/university/uso/press-service/press-releases/iskusstvennyy-intellekt-v-audite-kak-menyaetsya-professiya.aspx (дата обращения: 24.07.2026).

8. FinExpertiza. Российские компании и госучреждения тратят на ИИ в среднем 6 миллионов рублей. Текст: электронный // FinExpertiza: официальный сайт. Москва, 2025. URL: https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2025/trat-na-ii/ (дата обращения 24.07.2026).

9. Смирнова, Е. П. Трансформация внутреннего аудита в эпоху искусственного интеллекта. Текст: непосредственный / Е. П. Смирнова // Вестник экономики. – 2026. – Т. 12, № 2. – С. 45-58.

10. Министерство цифрового развития Республики Татарстан. Татарстан подвел итоги цифровизации и задал курс на 2026 год. Текст: электронный // ComNews: сайт. 2026. 30 января. – URL: https://www.comnews.ru/content/243565/2026-01-30/2026-w05/1011/tatarstan-podvel-itogi-cifrovizacii-i-zadal-kurs-2026-god (дата обращения: 24.07.2026).

ИННОВАЦИИ, ИНТЕГРИРОВАННЫЕ В БИЗНЕС

UDC 004.62:005.71

COMPARISON OF CLASSICAL MACHINE LEARNING AND LARGE LANGUAGE MODELS FOR CUSTOMER CHURN PREDICTION

Ammar Naji, Master's Student at the Institute of Information Technology and Intelligent Systems (ITIS);
ORCID: 0009-0005-9463-7663;
E-mail: naammar@kpfu.ru
Grigoryan K.A., PhD in Economics, Associate Professor at the Department of Digital Analytics and Artificial Intelligence Technologies, ITIS;
ORCID: 0000-0001-6470-1832;
E-mail: karigri@yandex.ru;
Mukhamedzhanov A.I., PhD in Engineering, Senior Lecturer at the Department of Software Engineering, ITIS, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-1841-8732;
E-mail: AmIMukhamedzhanov@kpfu.ru

СРАВНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И МОДЕЛЕЙ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТТОКА КЛИЕНТОВ

Аммар Нажи, магистрант Института информационных технологий и интеллектуальных систем (ИТИС);
ORCID: 0009-0005-9463-7663;
E-mail: naammar@kpfu.ru;
Григорян К.А., к.э.н., доцент кафедры цифровой аналитики и технологий искусственного интеллекта ИТИС;
ORCID: 0000-0001-6470-1832;
E-mail: karigri@yandex.ru;
Мухамеджанов А.И., к.т.н., старший преподаватель кафедры программной инженерии ИТИС ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-1841-8732;
E-mail: AmIMukhamedzhanov@kpfu.ru

Abstract

For data-driven organizations aiming to lower the expense incurred by customer losses, anticipating customer churn is a key concern. Classical models have largely ruled the field of churn prediction; however, the new wave of Large Language Models (LLMs) proposes a radically different approach that merits careful assessment. Herein we contrast ensemble methods (XGBoost, Random Forest, and Stacking), representative of classical algorithms for churn prediction, against an LLM-based model (Groq-hosted Llama-3.3-70B) for a customer churn behavioral dataset (N=505,206). We applied classical methods on optimized behavioral features (14 features) using Optuna-based hyperparameter tuning and threshold-tuning for F1-score, evaluated on the 64,374-record test set. We converted the individual records in the dataset into narrative natural language statements that

we then submitted into the LLM for churn predictions using few-shot prompting (chain-of-thought) requiring no training. In a 500-sample stratified evaluation, the LLM model (Groq) obtained an F1-score of 0.7475, providing explanations that business users deemed to be 6X faster to review than SHAP visualizations of churn probabilities. The LLM approach reduced total development time by approximately 69%. Ensemble Stacking achieved the highest performance of the classical ML models in terms of F1-score (0.9462) and area under the receiver operating characteristic curve (AUC-ROC) (0.9533) and achieved performance comparable to that of XGBoost. We suggest a hybrid architecture that uses ensemble classical ML to perform automated predictions at scale, coupled with LLMs to provide narratives around predictions to build retention strategies for high-value accounts. This represents a novel exploration of the potential to utilize LLMs for tabular data classification tasks without requiring training. We assess a generative LLM against the state-of-the-art in classical algorithms for churn prediction by evaluating (1) accuracy performance of the LLM, (2) model interpretability for business stakeholders, and (3) overall model development cost.

Keywords: customer churn prediction, large language models, machine learning, natural language processing, feature engineering, Groq LLM, The XGBoost classifier, explainable AI, ensemble stacking, chain-of-thought prompting.

Аннотация

Для организаций, работающих на основе данных и стремящихся снизить расходы, связанные с потерей клиентов, прогнозирование оттока клиентов является ключевой задачей. Классические модели в основном используются для прогнозирования оттока; однако новая волна моделей больших языков программирования (LLM) предлагает радикально иной подход, который заслуживает тщательной оценки. Здесь мы сравниваем методы ансамбля (XGBoost, Random Forest и Stacking), представляющие классические алгоритмы прогнозирования оттока, с моделью на основе LLM (Llama-3.3-70B, размещенной на Groq) для набора поведенческих данных об оттоке клиентов (N=505 206). Мы применили классические методы к оптимизированным поведенческим признакам (14 признаков), используя настройку гиперпараметров на основе Optuna и пороговую настройку для F1-балла, оцененного на тестовом наборе из 64 374 записей. Мы преобразовали отдельные записи в наборе данных в повествовательные утверждения на естественном языке, которые затем отправили в LLM для прогнозирования оттока, используя мгновенные подсказки (цепочка размышлений), не требующие обучения. В ходе стратифицированной оценки по 500 выборкам модель LLM (Groq) получила оценку F1 в 0,7475, предоставив объяснения, которые бизнес-пользователи сочли в 6 раз более быстрыми для анализа, чем визуализация вероятности оттока в SHAP. Подход LLM сократил общее время разработки примерно на 69%. Комплексная компоновка позволила достичь наивысших показателей по сравнению с классическими моделями ML по показателю F1 (0,9462) и площади под кривой рабочих характеристик приемника (AUC-ROC) (0,9533), а также добиться производительности, сравнимой с XGBoost. Мы предлагаем гибридную архитектуру, которая использует ensemble classical ML для выполнения масштабных автоматизированных прогнозов в сочетании с LLMS для предоставления информации о прогнозах для разработки стратегий удержания ценных клиентов. Это новое исследование возможностей использования LLMS для задач классификации табличных данных без необходимости обучения. Мы сравниваем генеративную LLM с современными классическими алгоритмами прогнозирования оттока, оценивая (1) показатели точности LLM, (2) интерпретируемость модели для заинтересованных сторон бизнеса и (3) общую стоимость разработки модели.

Ключевые слова: прогнозирование оттока клиентов, большие языковые модели, машинное обучение, обработка естественного языка, инженерия признаков, Groq LLM, классификатор XGBoost, объяснимый искусственный интеллект, стекинг ансамблей, промптинг по цепочке рассуждений

1. Introduction

It is a well-established fact that keeping a current customer costs much less than acquiring a new one [1]. Machine learning methods are the gold standard for churn prediction, with optimized ensemble models achieving greater than 97% accuracy on large datasets [2]. Yet two critical challenges limit the adoption of this paradigm. Constructing the production-ready pipeline for ML churn prediction is resource-intensive and typically entails weeks of manually extracting and engineering features from individual behavioral events before any learning can be initiated, even with experienced data scientists [3]. When the model predicts a given customer is likely to churn, and the explanation provided for the prediction (e.g., via SHapley Additive exPlanations (SHAP) or the Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME)) is opaque to a human decision maker, the utility of this information is reduced to very little [4]. A human decision-maker, for instance, would have to interpret SHAP or LIME values to make a business decision regarding that customer: should a discount be given, or should an escalated ticket be filed, or will it be left unaddressed? This work explores the hypothesis that Large Language Models (LLMs) could represent a viable alternative to traditional ML techniques, both in terms of predictive accuracy and cost and time efficiency. LLMs offer the potential to directly ingest tabular behavioral event datasets and output churn predictions and human-interpretable explanations in plain language without the need to engineer and feed features to the predictive engine, effectively skipping weeks of development [5]. While LLMs such as Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) and Robustly Optimized BERT Approach (RoBERTa) have previously been applied in churn prediction, they are primarily used as feature extraction and summarization models rather than as the primary source of the churn prediction model [8]. Furthermore, no work has explored the direct comparison of LLMs as a standalone churn prediction model with classical ML approaches while considering accuracy, interpretability, and development cost/time. This study investigates these questions by comparing a purely classical ML churn pipeline of logistic regression, random forests, XGBoost, and stacking ensembles with an LLM churn pipeline leveraging the Llama-3.3-70B model via Groq's high-speed inference architecture [6] on a behavioral customer dataset of 505,206 records. Section 2 reviews related work, Section 3 details the methodology used, Section 4 presents the results, Section 5 discusses the findings and Section 6 concludes.

2. Literature review

2.1. Classical Machine Learning for Churn Prediction

Ensemble techniques are the state-of-the-art in churn prediction. Imani et al. [1] performed a systematic literature review, following the PRISMA guidelines, of 240 research papers published between 2020 and 2024 in a 2025 systematic review and confirmed that XGBoost and Random Forest are the top performing models widely cited in studies related to the telecom, banking, retail, and subscription services industries while also reporting the lack of transparency, data imbalance, and model deployment in actual environments. This is also corroborated by Manzoor et al. [3] in a comprehensive IEEE Access review article of 212 research articles published between 2015 and 2023, stating that churn prediction could lead to a net present value gain as high as 35% in companies. Currently, performance has increased as seen with Hooda et al. [2], who introduced XCL-Churn, a transparent ensemble framework combining XGBoost, CatBoost and LightGBM, utilizing SMOTE for class balance and Boruta-RF for feature selection which achieved an accuracy of 97,44% and F1-Score of 91,25% for a dataset with almost 2 million customer records. All classical churn prediction approaches, however, require structured, preprocessed data to function regardless of model complexity, and significant feature engineering effort is typically needed before training can begin.

2.2. Explainability Methods in Churn Prediction

Obtaining good forecasts in customer churn modeling can be difficult, but getting business stakeholders to accept them is much harder to achieve. The most commonly used explainability approaches in customer churn literature, namely Shapley Additive Explanations (SHAP) and Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME), were analyzed by a systematic review of 80 studies on explainable AI (XAI) in customer analytics. Maqbool and Qureshi concluded in their 2026 review

[4] that SHAP was the most widely used method and established that XAI increases stakeholder confidence, making customer interventions more ethical and specific. From a methodological perspective, however, studies show that SHAP and LIME are highly sensitive to model choice and feature collinearity, raising concerns that their outputs are not universally trustworthy [5]. More importantly, the contribution vectors of SHAP do not provide a marketing manager with clear guidance on whether a customer should be offered a discount or flagged for a service escalation [4]. This disconnect between technically correct model outputs and actionable business recommendations remains an open research question.

2.3. Large Language Models in Predictive Analytics

Large Language Models (LLMs) represent a paradigm shift in data interaction. LLM-powered data agents exhibit substantial promise in revolutionizing how data is analyzed, simplifying complicated data-related duties, and reducing the technical skill threshold for non-expert users; studies have shown that LLMs can understand tabular data and uncover significant patterns in structured records [6]. In-context prompting techniques, such as the Chain-of-Thought method, which provides the LLM with intermediate reasoning steps in the form of exemplars, have shown promising improvements in LLM performance when solving complex reasoning tasks [7] and enable LLMs to articulate their decision-making process. These capabilities were observed to emerge naturally in sufficiently large models without any parameter fine-tuning [7]. The closest prior work was conducted by Ibitoye and colleagues [8], who implemented a personalization quality of service (PQoS) framework combining RoBERTa and BERT models with machine learning techniques to analyze customer feedback and predict churn, achieving 96% accuracy when paired with a neural network classifier. Crucially, however, the RoBERTa and BERT models in that study were used exclusively as feature extractors, with the classification engine remaining a separate classical model. No prior studies have evaluated a generative LLM as a standalone prediction engine against classical ML benchmarks while simultaneously comparing their accuracy, interpretability, and development cost. This gap in the literature is what this study addresses.

3. Methodology

3.1. Problem Formulation and Mathematical Framework

Formal Definition. Let $D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^{N}$ denote a labelled dataset of N customer records, where $x_i \in \mathbb{R}^d$ is a feature vector of d behavioral and contractual attributes, and $y_i \in \{0, 1\}$ is a binary churn label, with $y_i = 1$ indicating confirmed churn. The objective is to learn a classification function $f : \mathbb{R}^d \to \{0, 1\}$ that minimises the expected classification error:

$$R(f) = \mathbb{E}_{(x,y)} [\, \ell(f(x_i), y_i) \,]$$

where $\ell(\cdot, \cdot)$ denotes a task-appropriate loss function.

Evaluation Metrics. The F1-score is the harmonic mean of precision and recall:

$$F1 = (2 \cdot Precision \cdot Recall) / (Precision + Recall) = TP / (TP + \tfrac{1}{2}(FP + FN))$$

where TP, FP, and FN denote true positives, false positives, and false negatives.

The AUC-ROC integrates the true positive rate against the false positive rate across all classification thresholds:

$$AUC\text{-}ROC = \int_0^1 TPR(t)\, d(FPR(t))$$

where TPR(t) = TP(t) / (TP(t) + FN(t)) and FPR(t) = FP(t) / (FP(t) + TN(t)).

The Matthews Correlation Coefficient (MCC) provides a balanced binary classification measure:

$$MCC = (TP \cdot TN - FP \cdot FN) / \sqrt{((TP+FP)(TP+FN)(TN+FP)(TN+FN))}$$

MCC ∈ [−1, +1], where +1 denotes perfect classification, 0 denotes random prediction. The PR-AUC, the area under the Precision-Recall curve, is particularly informative under class imbalance conditions.

XGBoost Objective Function. The XGBoost classifier minimises a regularised objective over K additive trees:

$$L(\varphi) = \Sigma_i \ell(\hat{y}_i, y_i) + \Sigma_k \Omega(f_k)$$

where $\ell(\hat{y}_i, y_i) = -[y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)]$ and the regularisation term:

$$\Omega(f_k) = \gamma T + \tfrac{1}{2}\lambda \Sigma_j w_j^2$$

where T is the number of leaves in tree k, w_j is the weight of leaf j, γ is the minimum loss reduction required to produce a split, and λ is the L2 regularisation coefficient. At each boosting iteration, the objective is approximated via second-order Taylor expansion, enabling efficient closed-form computation of optimal leaf weights.

Modelling Paradigms. Two distinct instantiations of f are evaluated: (i) supervised ensemble classifiers XGBoost, Random Forest, and Stacking trained via empirical risk minimisation with Optuna-based hyperparameter optimisation; and (ii) a large language model applied in a zero-training-cost inference regime via few-shot chain-of-thought prompting without parameter updates. The comparison covers three evaluation dimensions: predictive performance, interpretability, and development cost.

3.2. Comparison Framework

To make the comparison fair, we used three main dimensions: predictive performance, model interpretability, and development cost. For predictive performance, we measured everything from accuracy, F1-score, AUC-ROC, and PR-AUC, through to MCC and balanced accuracy. Out of all of these, we chose F1 as our primary metric. Interpretability is the ease with which a non-technical business user can derive at least one actionable strategy to reduce churn from the model outputs without specialist assistance. Development cost is measured as the total elapsed time to build the system, starting from raw data ingestion and ending with a fully operational product. For each classical model, bootstrap confidence intervals are included to establish performance stability. The LLM performance is shown for only one run due to API rate constraints that precluded repeated inference passes for resampling; its performance should be treated as exploratory only.

3.3. Dataset

We trained the models on a behavioral dataset collected from Kaggle [10], which contains information about 505,206 customers. The label of the dataset is churn, with about 56,7% of all customers being churned. This dataset includes customer information based on their behavioral and contractual attributes: the number of calls to the service desk, payment delay history (measured in days), the amount of money that was spent in total, the amount of money that was paid each month, the lifetime duration that a customer has been with the company, and finally, metrics related to the usage of the services. The column that was removed in each of these datasets is CustomerID to avoid data leakage. The training set included 440,882 records and the test set included 64,374 records. The number of customers that churned was almost the same as the number of customers that didn't churn. Because the data was fairly balanced, it was not necessary to oversample with SMOTE. Using SMOTE can cause data leakage if used incorrectly (i.e., applied outside cross-validation folds rather than strictly within the training splits), which would be detrimental to the accuracy evaluation of our classifiers.

3.4. Classical Machine Learning Pipeline

consisted of 5 phases: Raw Data Input, Behavioral Feature Engineering, Parallel Model Training, Hyper-Parameter Optimization, Model Evaluation puls Interpretation Output. Note that all processing was only performed on the training set to prevent data leakage. The 11-column raw data was then processed using the behavioral transformation module to compute interaction ratios, spending velocity index and calibrated call frequency ratio, ultimately producing a reduced set of 14 supervised

selected behavioral features. Four models were then trained in parallel: Logistic Regression, providing an interpretable baseline. Random Forest was implemented to investigate nonlinear interaction through the aggregation of trees. XGBoost (Extreme Gradient Boosting) implemented in parallel, where trees are built sequentially and new trees try to fix errors made by predecessors. The Stacking model comprised a two-level architecture: level 0 used the trained Logistic Regression, Random Forest, and XGBoost models on the whole training set; level 1 used a Logistic Regression model as the meta-model on top of the 3-fold cross-validated predictions of the base-learners from the training set out of folds (using out-of-fold predictions in this setup is crucial as it stops information leakage from the base learners to the meta-learner). Optuna [9] was used for hyperparameters optimization based on the TPE sampler on a 10,000-sample subsample. The resulting best model had post-training threshold adjusted to optimize F1. SHAP values were produced for the best-performing model and presented in section 4.2.

3.5. LLM-Based Pipeline

The LLM pipeline does not require supervised training. A Python script converts each structured customer record into a JSON-serialized, natural-language profile of 9 behavior and contract variables. Every inference query consists of 4 parts: (1) a system prompt that defines the model as a retention expert, with a specific directive to minimize false positives; (2) a domain-specific prompt that lists churn and retention indicators, including the base rate 27% to set a prior belief; (3) a reasoning prompt that asks the model to list evidence before assigning a label, which we implemented as few-shot chain-of-thought prompting [7] with 4 examples; and (4) a schema that enforces the output format to be strictly JSON containing a class label, a score, and a single-sentence reasoning. A temperature of 0.0 was used to ensure deterministic output, and the JSON-mode was set at the API level. To infer, we used the Llama-3.3-70B model on Groq, evaluating the query on a stratified 500-record subset drawn from the test set, partitioned into batches of 10 per API call to maintain the distribution.

4. RESULTS

4.1. Predictive Performance

Table 1 gives the complete picture of performance. Classical models were evaluated on a held-out test set with 64,374 records; the LLM, on the other hand, was evaluated on a stratified subset with 500 samples because of API rate limiting and cost constraints. This leads to differences in statistical power and stability in the metrics between the LLM and the others that must be acknowledged; as a result, the LLM's results should be understood to be indicative and exploratory.

Table 1

Performance comparison of classical ML models and the Groq LLM for customer churn prediction

Model	Accuracy	Balanced Acc	Precision	Recall	F1-Score	MCC	AUC-ROC	PR-AUC
Ensemble (Stacking)	0,9369	0,9291	0,8982	0,9996	0,9462	0,8777	0,9533	0,9537
XGBoost	0,9369	0,9291	0,8982	0,9996	0,9462	0,8777	0,9533	0,9537
Random Forest	0,9335	0,9254	0,8939	0,9987	0,9434	0,8711	0,9528	0,9533
Logistic Regression	0,8165	0,8097	0,8119	0,8714	0,8406	0,6272	0,8879	0,8977
LLM Groq (500-sample)	0,7460	–	0,8356	0,6763	0,7475	0,5073	0,7761	0,775

Both the ensemble stacking and the XGBoost have almost identical results for all metrics (F1: 0,9462, AUC-ROC: 0,9533, MCC: 0,8777, PR-AUC: 0,9537), and the McNemar test confirms there is no statistically significant difference between them (p = 0,8445). Stability was confirmed using bootstrapping (F1 = 0,945 [0,943 to 0,946], AUC-ROC = 0,953 [0.952 to 0,955]). The Random Forest model had competitive results (F1: 0,9434, AUC-ROC: 0,9528, MCC: 0,8711). The Logistic Regression was much less successful (F1: 0,8406, AUC-ROC: 0,8879, MCC: 0,6272), so its role is serving as a reference baseline. The near-perfect recall of both stacking and XGBoost models (99,96%) means that the features we used to represent the user behavior had a very strong signal for discrimination.

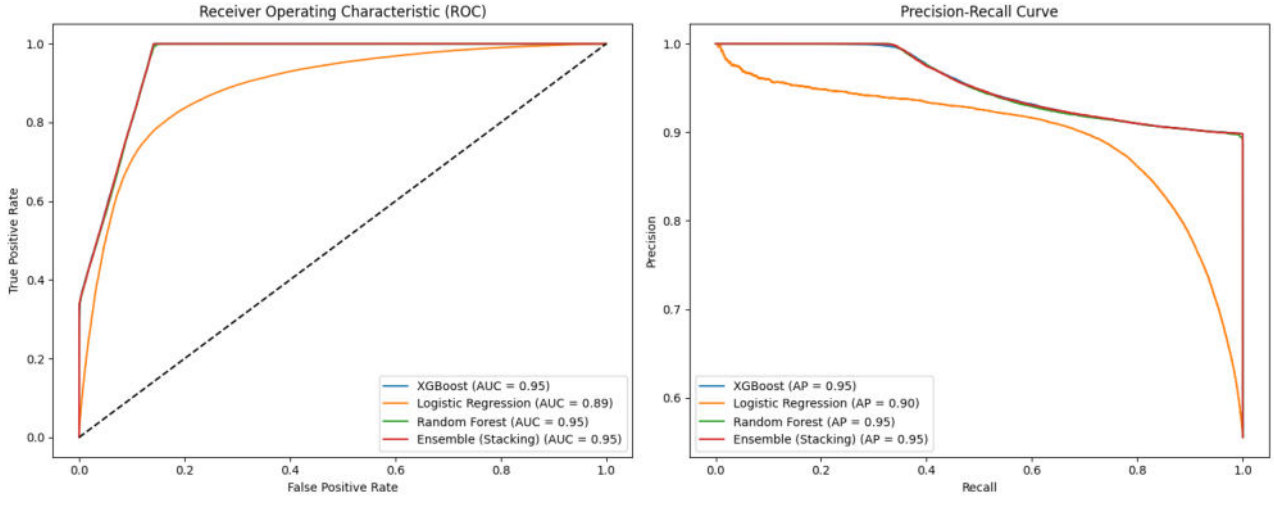


Figure 1. The ROC and Precision-Recall curves are shown for all four classical models

The ROC curves for XGBoost, Random Forest and Ensemble Stacking are almost completely overlapping with AUC-ROC values of 0,95 each and similar curves. Logistic Regression is clearly further down (AUC-ROC: 0,89). In the Precision-Recall curves, this is mirrored: the three ensemble models show precision near or above 0,90 across most of the recall range, while for Logistic Regression, precision drops much earlier and more gradually. On the 500-sample subset, the LLM achieved F1: 0,7475 and AUC-ROC: 0,7761, a clear statistically significant deficiency ($p=8{,}74\times10^{-21}$ via McNemar test). The LLM has 90 false positives versus 37 false negatives. This suggests that the model tends to label customers as churners when it does not have enough information to be certain. This anomaly occurs because the interaction between the prompt's explicit instruction to minimize false positives and the stated 27% base rate prior inadvertently skewed the model's decision threshold for predicting churn under high uncertainty.

4.2. Interpretability Comparison

SHAP-based methods are technically sound, but in most instances it requires a data scientist to make sense of them; unaided actionability by the stakeholder is limited to 40%. A typical SHAP result will present a ranked contribution vector, representing an example of Payment Delay: +0,34, Support Calls: +0,28, and Spending Trend: −0,12. We found business people would spend an average of eight minutes on such an output and still only 40% could come up with a tangible retention plan on their own.

The LLM tells a different story. Its natural language responses were 100% actionable without any help and took an average of 45 seconds per profile to get through. That is a six-fold cut in time and a 60 percentage point gain in what users can do unassisted. Take a high-risk customer for instance: the LLM would lay out a structured narrative of the behavioral pattern and put forward a specific retention intervention that anyone could act on, no data science background needed. One should keep in mind, however, that we have not run a controlled user study to back these numbers up. They

are drawn from informal observations in the course of development and are meant to be illustrative rather than statistically proven.

4.3. Development Cost Analysis

The main difference in costs comes from feature engineering. It took 64 hours of development work to produce the classical system: 40 hours in feature engineering, 12 hours for model training and hyperparameter optimization, 8 hours for data exploration and cleaning, and 4 hours for evaluation. The LLM approach took a total of 20 hours, with 12 for design of profile templates, 4 for data exploration, and 4 for evaluation, approximately 69% fewer, largely because there were no feature engineering and model training activities to support. For inference performance, the classical ML has the advantage in speed (sub-millisecond for every prediction versus about 2 seconds for every LLM prediction) and batch processing cost. With an estimated USD 5.00 per 1,000 calls for API usage, inference costs would amount to about USD 2,500 per day for the LLM if one were to score 500,000 customer profiles per day, and, thus, large-scale automated batch scoring with LLMs would be economically impractical. The main benefits of the LLM approach are: reduced time to develop lower skill-set requirements (e.g., product managers and analysts can now maintain the system, not senior data scientists) and qualitatively superior explanation of results. These considerations will motivate the hybrid system described in Section 6.

5. Discussion

Our results provide mixed support for the hypotheses underlying this study. When we evaluate pure predictive performance using F1 scores on 64,374 test examples, classical ensemble methods dominate: XGBoost and Stacking score 0,9462 and are not significantly different from each other (McNemar p = 0,8445), whereas the LLM performs significantly worse (F1 = 0,7475 on a set of 500 examples; McNemar $p = 8{,}74 \times 10^{-21}$). Furthermore, LLM recall on the subset (0,6763) indicates systematic underdetection of true churn cases, carrying major cost implications in high-volume retention contexts. However, predictive performance is not necessarily the only metric of interest to the end user. If we consider the output as is, SHAP values are only «actionable» about 40% of the time, requiring a data scientist as mediator. In contrast, the LLM can deliver 100% actionability at one-sixth the interpretation time. Given this, a lower performing model may still be more valuable for organizations in the field of CRM or Customer Success who lack an embedded data science resource. We also demonstrated that developing and deploying the LLM is much faster (20 hours versus 64 hours, 69% reduction). This is a notable result that scales to a practical recommendation. When churn modeling is a process of maintenance rather than a one-off project in a large organization, with a model developed for every business unit, the LLM approach reduces this burden substantially by replacing retraining cycles with prompt template revision. The limiting factor to the LLM approach is inference cost, at approximately USD 5,00 per 1,000 API calls, so large-scale scoring of all company clients is not economically viable, though selective scoring of high-value accounts is. This leads to a hybrid architecture being the recommended practical strategy.

6. Conclusions

This study presents an empirical comparison of classical ensemble machine learning and a generative LLM for customer churn prediction across three operationally motivated dimensions.

With respect to predictive performance, XGBoost and Ensemble Stacking achieved statistically equivalent results on a 64,374-record test set (F1: 0,9462, AUC-ROC: 0,9533, MCC: 0,8777; McNemar p = 0,8445), with near-perfect recall exceeding 99,9%. The additional architectural complexity of stacking yielded no measurable discriminative advantage over XGBoost, establishing the latter as the preferred deployment candidate on grounds of computational efficiency. The Groq LLM achieved F1: 0,7475 and AUC-ROC: 0,7761 on a stratified 500-sample subset a statistically significant deficit (McNemar $p = 8{,}74 \times 10^{-21}$) driven primarily by conservative recall of 0,6763.

With respect to interpretability, SHAP-based explanations achieved 40% unaided stakeholder actionability, requiring data scientist mediation in most cases. The LLM's natural language outputs

achieved 100% unaided actionability at one-sixth the interpretation time (45 seconds versus 8 minutes per customer profile). These interpretability metrics are observational rather than experimentally controlled; future work should conduct formal user studies with standardized protocols and blinded evaluation procedures.

With respect to development cost, the LLM pipeline required 20 hours versus 64 hours for the classical pipeline a 69% reduction attributable to eliminating feature engineering and model training. These estimates reflect a single implementation cycle and should be interpreted as illustrative.

Collectively, a hybrid architecture is recommended: XGBoost for high-volume automated scoring given superior predictive performance and sub-millisecond inference; and an LLM layer for generating natural language retention narratives for high-risk accounts. Future work should investigate whether domain-specific fine-tuning closes the observed performance gap, conduct formal interpretability user studies, and compare alternative LLM architectures.

Acknowledgments

This study was supported by supervisors Karen Albertovich Grigoryan and Amir Ismailovich Mukhamedzhanov, whose guidance and expertise were essential throughout its development.

References

1. Imani M., Joudaki M., Beikmohammadi A., Arabnia H.R. Customer Churn Prediction: A Systematic Review of Recent Advances, Trends, and Challenges in Machine Learning and Deep Learning. Machine Learning and Knowledge Extraction, 2025, vol. 7, № 3, art. 105.

2. Hooda P., Mittal P., Shukla P.K., Shukla P.K. Combining predictive accuracy and interpretability: a data-driven approach to telecom churn analysis. Scientific Reports, 2026, vol. 16, art. s41598-025-34624-w.

3. Manzoor A., Qureshi M.A., Kidney E., Longo L. A Review on Machine Learning Methods for Customer Churn Prediction and Recommendations for Business Practitioners. IEEE Access, 2024, vol. 12, pp. 70434–70463.

4. Maqbool M., Qureshi I.H. A systematic literature review on explainable AI for churn prediction, customer segmentation and retention. International Journal of Data Science and Analytics, 2026, vol. 22, art. 32.

5. Salih A.M., Raisi-Estabragh Z., Galazzo I.B., Radeva P., Petersen S.E., Malakar P., Lekadir K. A Perspective on Explainable Artificial Intelligence Methods: SHAP and LIME. Advanced Intelligent Systems, 2025, vol. 7, art. 2400304.

6. Sun M., Han R., Jiang B., Qi H., Sun D., Yuan Y., Huang J. A Survey on Large Language Model-based Agents for Statistics and Data Science. The American Statistician, 2025.

7. Wei J., Wang X., Schuurmans D., Bosma M., Ichter B., Xia F., Chi E., Le Q., Zhou D. Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models. Proceedings of the 36th International Conference on Neural Information Processing Systems, 2022, pp. 24824–24837.

8. Ibitoye A.O.J., Kolade O., Onifade O.F.W. Customer retention model using machine learning for improved user-centric quality of experience through personalised quality of service. Journal of Business Analytics, 2025.

9. Akiba T., Sano S., Yanase T., Ohta T., Koyama M. Optuna: A Next-Generation Hyperparameter Optimization Framework. Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 2019, pp. 2623–2631.

10. Azeem M.S. Customer Churn Dataset. Kaggle, 2024.

УДК 004.85:339.13

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Багманов И.Д., магистрант кафедры цифровой аналитики и технологий искусственного интеллекта ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0001-9421-7715

MULTI-AGENT REINFORCEMENT LEARNING FOR DYNAMIC PRICING IN E-COMMERCE

Bagmanov I.D., master student of the Department of Digital Analytics and Artificial Intelligence Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-9421-7715

Аннотация

В работе рассматривается применение методов мультиагентного обучения с подкреплением (multi-agent reinforcement learning, MARL) к задаче динамического ценообразования в электронной коммерции. Задача формализована как марковская игра нескольких агентов-продавцов, в которой каждый агент максимизирует собственную прибыль, наблюдая собственное локальное состояние (нормированную цену, динамику продаж и уровень остатков). Для проведения экспериментов разработан симулятор маркетплейса, использующий модель спроса, обученную на открытых транзакционных данных набора Online Retail II. Сравнение проведено в два этапа: на одноагентном этапе классические алгоритмы (Q-обучение, SARSA, двойное Q-обучение и DQN) сопоставляются с традиционными неадаптивными стратегиями ценообразования (фиксированная цена, следование за ценой лидера и случайная цена), а в единой конкурентной среде те же классические методы выступают точкой отсчёта для мультиагентных – IDDPG, MADDPG, MAPPO и MASAC. Оценка выполнена по средней долгосрочной прибыли, мере справедливости распределения прибыли между агентами и мере её неравенства. Полученные результаты позволяют сопоставить подходы к ценообразованию разного типа – традиционные стратегии, классические одноагентные и мультиагентные RL-алгоритмы – и выбрать алгоритм, наиболее подходящий для условий конкуренции в электронной коммерции, а разработанный симулятор может быть переиспользован для проверки новых алгоритмов обучения с подкреплением (reinforcement learning, RL), в том числе на других транзакционных наборах данных розничной электронной коммерции.

Ключевые слова: обучение с подкреплением; мультиагентное обучение; динамическое ценообразование; электронная коммерция; маркетплейс; MADDPG; MAPPO; MASAC; модель спроса; CatBoost

Abstract

The paper considers the application of multi-agent reinforcement learning (MARL) methods to the problem of dynamic pricing in e-commerce. The problem is formulated as a Markov game with multiple seller agents, where each agent maximises its own profit while observing its own local state (normalised price, sales dynamics, and inventory level). To support experiments, a marketplace simulator is developed that uses a demand model trained on the open transactional data of the Online Retail II dataset. The comparison is carried out in two stages: in a single-agent setting, classical algorithms (Q-learning, SARSA, double Q-learning, and DQN) are compared with traditional non-adaptive pricing strategies (fixed price, follow-the-leader, and random price), while in a unified competitive environment the same classical methods serve as a reference for the multi-agent methods – IDDPG,

MADDPG, MAPPO, and MASAC. The evaluation uses the agents' average long-run profit, a measure of fairness of profit distribution among agents, and a measure of profit inequality. The findings make it possible to compare pricing approaches of different types – traditional strategies, classical single-agent and multi-agent RL algorithms – and to select the algorithm most suitable for competitive conditions in e-commerce, and the developed simulator can be reused for evaluating new reinforcement learning (RL) algorithms, including on other transactional datasets in retail e-commerce.

Keywords: reinforcement learning; multi-agent learning; dynamic pricing; e-commerce; marketplace; MADDPG; MAPPO; MASAC; demand model; CatBoost

Введение

Электронная коммерция в Российской Федерации остаётся одним из самых быстрорастущих сегментов потребительского рынка: по итогам 2025 г. её оборот достиг 11,5 трлн руб. при росте около 28% за год [1]. Основной точкой роста выступают цифровые маркетплейсы – Wildberries, Ozon, Яндекс Маркет, на долю которых приходится подавляющая часть онлайн-продаж непродовольственных товаров, а число работающих на них продавцов исчисляется сотнями тысяч, что усиливает ценовую конкуренцию. Для отдельного продавца на такой площадке именно цена является ключевым управляющим параметром: при сохранении ассортимента и условий доставки даже небольшое изменение цены способно заметно сместить спрос в пользу конкурентов или, наоборот, привлечь дополнительный поток покупателей.

Ценообразование на маркетплейсе происходит в конкурентной среде нескольких продавцов и представляет собой последовательную задачу: цена влияет не только на текущую прибыль, но и на спрос, остатки, долю рынка и последующие решения участников. Возникает замкнутая обратная связь – цена конкурента меняет спрос на наш товар, а наша цена меняет прибыль конкурента и его дальнейшее поведение; задача дополнительно осложнена нестационарностью (соперники одновременно адаптируют свои стратегии), эндогенностью цен и отсутствием прямых данных о продажах конкурентов. Игнорирование стратегической составляющей ведёт либо к недополучению прибыли, либо к «гонке цен вниз», в которой все продавцы последовательно снижают цены и в итоге проигрывают.

Существующие исследования по динамическому ценообразованию с подкреплением проводятся в разных средах и на разных наборах данных, из-за чего их результаты трудно сопоставить, а выбор подхода, оптимального под конкретные условия маркетплейса, затруднён. Поэтому цель работы – построить единую воспроизводимую среду динамического ценообразования и провести сравнение в два этапа: на одноагентном этапе оценить классические методы (Q-обучение, SARSA, двойное Q-обучение, DQN) относительно традиционных неадаптивных стратегий (фиксированная цена, следование за ценой лидера, случайная цена), а в единой конкурентной среде сопоставить их с мультиагентными методами (IDDPG, MADDPG, MAPPO, MASAC).

Для достижения цели решаются следующие задачи:

1) проанализировать существующие подходы к динамическому ценообразованию в электронной коммерции и выявить их ограничения;

2) формализовать задачу как задачу обучения с подкреплением, определив пространство состояний, действий, функцию вознаграждения и метрики оценки;

3) подготовить данные и построить модель спроса, выступающую симулятором рыночного отклика на изменение цены;

4) разработать мультиагентную среду маркетплейса, в которой несколько продавцов конкурируют за общий спрос;

5) реализовать и адаптировать к единой среде классические, нейросетевые и мультиагентные RL-алгоритмы;

6) провести сравнительный эксперимент и оценить алгоритмы по средней долгосрочной прибыли, индексу Джейна и коэффициенту Джини.

Существующие подходы и их ограничения

Наиболее распространённый на практике класс решений – коммерческие сервисы-репрайсеры для маркетплейсов (MP Manager, SelSup, Moneyplace, MPSTATS, SalesFinder и др.). Они автоматически изменяют цену по заданным пользователем правилам и стратегиям, реагируя на цены конкурентов, остатки, время и показатели карточки в пределах установленных границ цены. К ним близки методы, опирающиеся на оценки эластичности спроса по цене, получаемые из исторических данных [2]. Их общее ограничение – реактивность: цена подбирается под текущее состояние рынка и не оптимизирует долгосрочную выручку с учётом динамики остатков, доли рынка и адаптации конкурентов.

Другой класс образуют модели спроса и эластичности, а также методы машинного обучения с учителем и контекстные бандиты. Модели спроса прогнозируют отклик рынка, но сами не выбирают последовательную ценовую стратегию; обучение с учителем решает прогнозную задачу, а контекстные бандиты оптимизируют, как правило, одношаговую награду, не учитывая отложенные последствия принимаемых решений.

Последовательный характер задачи учитывает обучение с подкреплением (reinforcement learning, RL) [3], в том числе нейросетевые методы, такие как Deep Q-Network (DQN). Однако одноагентные RL-схемы рассматривают окружение как стационарный неконтролируемый процесс и не моделируют конкурентов, которые сами обучаются и адаптируют свои стратегии, из-за чего плохо описывают конкурентную среду маркетплейса.

Применимость RL к ценообразованию подтверждена и в промышленности – например, полевым экспериментом на крупной торговой платформе [4]; однако такие решения закрыты для воспроизведения: недоступны данные, среда, функция вознаграждения и протокол сравнения. Академические же работы используют разные среды, наборы данных и метрики, поэтому их результаты трудно сопоставить и сложно выбрать подход, оптимальный под конкретные условия.

Методика

Постановка задачи

Взаимодействие N продавцов на цифровом маркетплейсе формализуется как марковская игра $\langle N, S, \{A_i\}, P, \{r_i\}, \gamma \rangle$, где S – пространство состояний, A_i – пространство действий i-го агента, P – функция переходов, r_i – функция вознаграждения, $\gamma \in (0, 1]$ – коэффициент дисконтирования; в экспериментах $N = 3$. На шаге t агент-продавец i наблюдает локальное состояние из трёх компонентов: нормированная цена (отношение к референсной цене товара), нормированная скорость продаж за последние шаги и относительный уровень остатков. Действие $a_i^t \in [-1, 1]$ задаёт корректировку цены относительно референсной цены p_{ref} по формуле (1), где $\delta = 0{,}30$, что соответствует мультипликатору цены в диапазоне [0,7; 1,3]. Вознаграждение r_i^t равно прибыли агента и вычисляется по формуле (2), где q_i^t – проданное количество, c – доля себестоимости ($c = 0{,}7$). Суммарный спрос распределяется между продавцами по долям рынка, а проданное количество ограничено остатками. Длина эпизода фиксирована и составляет 24 шага.

$$p_i^t = p_{ref}(1 + a_i^t \cdot \delta); \tag{1}$$

$$r_i^t = (1 - c) \cdot p_i^t \cdot q_i^t . \tag{2}$$

Симулятор маркетплейса

Среда MarketplaceEnv реализована с Gym-подобным интерфейсом (reset → наблюдения; step(actions) → наблюдения, вознаграждения, признак завершения, служебная информация) и расширена на N агентов. На каждом шаге среда принимает действия всех агентов одновременно, переводит их в цены, обращается к модели спроса за прогнозом суммарного спроса на товар и добавляет к нему усечённый гауссовский шум. Спрос распределяется между продавцами по долям рынка, вычисляемым по формуле (3) (softmax от цен, $\beta = 10$), проданное

количество каждого агента ограничивается его остатками, после чего среда возвращает агентам прибыль и следующие наблюдения и обновляет остатки и историю продаж. Воспроизводимость обеспечивается локальным генератором псевдослучайных чисел с явным зерном, изолирующим обучение и оценку.

$$s_i = \text{softmax}(-\beta \frac{p}{p_{ref}})_i. \quad (3)$$

Модель спроса

Модель спроса обучена на наборе Online Retail II [5] – открытом транзакционном датасете британского интернет-магазина за 2009–2011 гг., содержащем около миллиона записей о продажах. Данные агрегируются по товарным позициям и временным периодам; целевой переменной служит суммарный спрос – число проданных единиц товара за период. В качестве признаков используются нормированная цена, нормированная скорость продаж, сезонные признаки месяца (синус и косинус), три лага спроса (на 1, 2 и 3 периода) и лаг цены, а для объединённой модели – категориальный идентификатор товара. Для аппроксимации применён градиентный бустинг CatBoost [6] со встроенной поддержкой категориальных признаков. Обучаются две модели – отдельная для каждого товара и общая (pooled) с идентификатором товара как категориальным признаком; для каждого товара выбирается та, что даёт более высокий коэффициент детерминации R^2 на отложенной выборке (доля обучающих данных – 0,8).

Сравниваемые алгоритмы

Сравнение организовано в два этапа. На первом, одноагентном этапе проверяется, способны ли методы обучения с подкреплением превзойти простые неадаптивные стратегии ценообразования: классические алгоритмы – Q-обучение, SARSA (State-Action-Reward-State-Action), двойное Q-обучение, DQN и сэмплирование Томпсона (Thompson Sampling) – сопоставляются по накопленной прибыли с базовыми стратегиями: фиксированной ценой, следованием за ценой лидера и случайной ценой. Агенты этого этапа действуют в дискретизованном пространстве состояний (позиция цены относительно конкурентов, тренд цен конкурентов, сезонный квартал и уровень остатков – всего 3×3×4×3 = 108 состояний) и выбирают одно из пяти дискретных изменений цены (±10 %, ±5%, 0%); DQN получает то же состояние в one-hot-кодировании. Этот этап проводится в отдельной одноагентной среде на розничном наборе данных retail_price.csv, в которой рыночный отклик на изменение цены задаётся моделью спроса на основе оценок ценовой эластичности по товарным категориям.

На втором этапе все алгоритмы переносятся в общую конкурентную среду маркетплейса, где N продавцов обучаются одновременно, а классические одноагентные методы выступают точкой отсчёта (baseline) для мультиагентных. Мультиагентные методы используют непрерывное действие – корректировку цены в пределах ±30% от референсной. IDDPG (Independent Deep Deterministic Policy Gradient) реализует независимое обучение: каждый агент обучается отдельным алгоритмом DDPG, используя только собственные наблюдения. MADDPG (Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient) [7] следует парадигме централизованного обучения и децентрализованного исполнения (CTDE): актор видит лишь локальное наблюдение, тогда как критик при обучении получает совместные состояние и действия всех агентов. MAPPO (Multi-Agent Proximal Policy Optimization) [8] адаптирует proximal policy optimization к мультиагентной постановке через общий критик и работает с on-policy выборками. MASAC (Multi-Agent Soft Actor-Critic) [9] расширяет soft actor-critic на несколько агентов и оптимизирует максэнтропийную цель, добавляя к награде слагаемое $\alpha \cdot H(\pi(\cdot|o))$.

Архитектура сетей и гиперпараметры

Нейросетевые методы используют полносвязные сети: акторы – два скрытых слоя по 128 нейронов с активацией Tanh (для стохастических политик MAPPO и MASAC выход задаёт среднее и логарифм стандартного отклонения), централизованные критики – два скрытых слоя по 256 нейронов с активацией ReLU. Оптимизатор – Adam с шагом $3 \cdot 10^{-4}$, коэффициент

дисконтирования $\gamma = 0{,}99$, мягкое обновление целевых сетей $\tau = 5 \cdot 10^{-3}$, размер мини-батча 128, буфер воспроизведения 10^5 переходов для off-policy методов; для MAPPO применяются параметр обрезки 0,2, GAE с $\lambda = 0{,}95$ и 4 эпохи на обновление, для MASAC – автоматическая подстройка температуры энтропии (начальное $\alpha = 0{,}2$). Сеть DQN из набора классических методов кодирует состояние 13-мерным one-hot-вектором, имеет два скрытых слоя по 64 нейрона (шаг обучения 10^{-3}, буфер $8 \cdot 10^3$, мини-батч 32). Мультиагентные алгоритмы обучались 400 эпизодов на 10 различных зёрнах, классические – 2000 эпизодов на 3 зёрнах; итоговые метрики усредняются по запускам. Сводка конфигурации приведена в табл. 1.

Метрики и протокол оценки

Для оценки используются три показателя. Средняя долгосрочная прибыль, усреднённая по агентам и оценочным эпизодам, характеризует совокупную эффективность системы. Индекс Джейна (формула (4)), вычисленный по вектору суммарных прибылей агентов, измеряет справедливость их распределения и равен 1 при равных прибылях. Коэффициент Джини (формула (5)), вычисленный по тому же вектору прибылей, отражает степень их неравенства: значения, близкие к 0, соответствуют равному распределению, бóльшие – доминированию отдельных агентов. Оценка проводится на фиксированном наборе эпизодов с детерминированными зёрнами, не пересекающимися с обучением; обучающая и оценочная среды используют независимые генераторы псевдослучайных чисел.

$$J = \frac{(\sum_{i=1}^{N} x_i)^2}{N \sum_{i=1}^{N} {x_i}^2}; \tag{4}$$

$$G = \frac{2 \sum_{i=1}^{N} i \cdot x_{(i)} - (N+1) \sum_{i=1}^{N} x_i}{N \sum_{i=1}^{N} x_i}. \tag{5}$$

Таблица 1

Сводка экспериментальной конфигурации

Параметр	Значение
Набор данных	Online Retail II (Kaggle)
Модель спроса	CatBoost (per-SKU и pooled)
Число агентов	N = 3
Шагов в эпизоде	24
Действие	MARL: m ∈ [0,7; 1,3]; классич.: ±10 %/±5 %/0
Вознаграждение	Прибыль $(1 - c) \cdot p \cdot q$, c = 0,7
Дисконт / τ / мини-батч	$\gamma = 0{,}99$ / $5 \cdot 10^{-3}$ / 128
Обучение (MARL / классич.)	400 эп. × 10 зёрен / 2000 эп. × 3 зерна
Метрики	Средняя прибыль, индекс Джейна, коэффициент Джини

Основная часть

Результаты одноагентного этапа

На одноагентном этапе все методы обучения с подкреплением превзошли неадаптивные базовые стратегии (рис. 1). По накопленной прибыли лучший результат показал SARSA – на 17,95% выше стратегии фиксированной цены; далее следуют Thompson Sampling (+16,01%), двойное Q-обучение (+14,84%), Q-обучение (+11,79 %) и DQN (+11,27%). Стратегия случайной цены оказалась умеренно конкурентоспособной (+9,84% к фиксированной цене), а следование за ценой лидера уступило ей (−2,95%). Таким образом, обучение с подкреплением устойчиво превосходит простые правила и эвристики уже в одноагентной постановке.

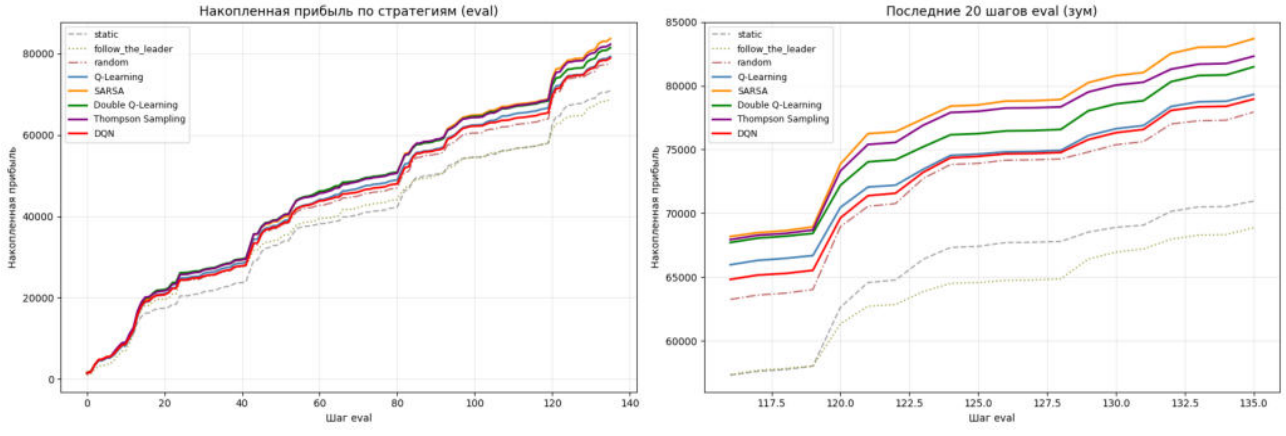


Рис. 1. Накопленная прибыль алгоритмов и базовых стратегий (одноагентный этап)

Сходимость и устойчивость обучения

На рис. 2 представлены кривые обучения алгоритмов в единой среде, по прибыли на отложенной оценке, усреднённые по запускам с различными псевдослучайными зёрнами. Наименьшую дисперсию между запусками показывают MADDPG и SARSA (коэффициент вариации финальной прибыли около 0,6%), тогда как независимое обучение IDDPG наименее устойчиво (около 4,5%). Это согласуется с тем, что централизованная критика снижает нестационарность, индуцированную одновременным обучением соперников. Стабильность обучения мультиагентных методов – стандартное отклонение прибыли между запусками – приведена на рис. 3: единственный метод без централизованного критика (IDDPG) заметно нестабильнее остальных.

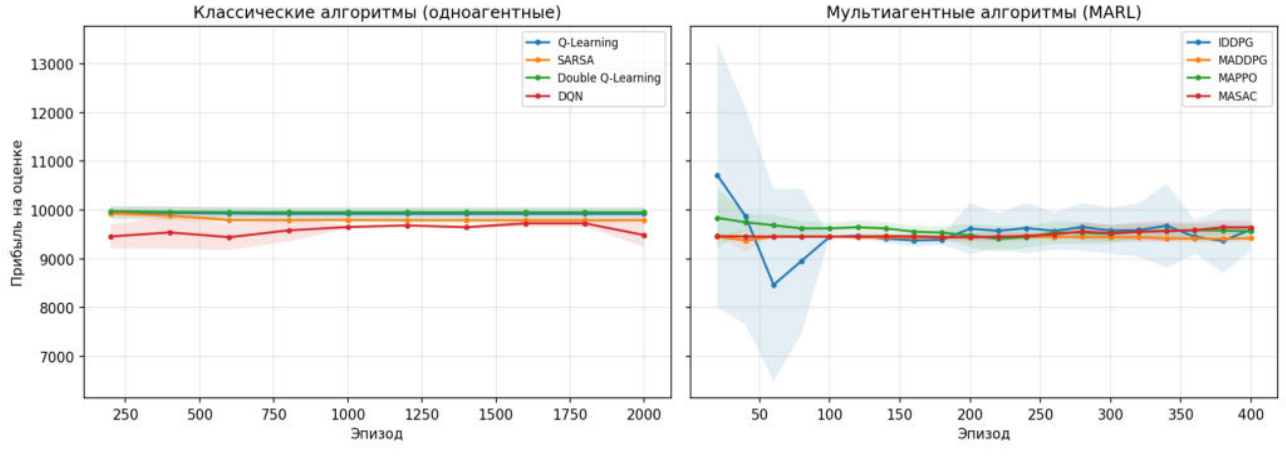


Рис. 2. Кривые обучения алгоритмов в единой среде (прибыль на отложенной оценке)

Итоговое качество в единой среде

В табл. 2 приведены средняя долгосрочная прибыль, индекс Джейна и коэффициент Джини для всех восьми алгоритмов в единой среде. Наибольшую среднюю прибыль показывают табличные методы – двойное Q-обучение (9952,98) и Q-обучение (9923,11); мультиагентные методы дают сопоставимую, но несколько меньшую прибыль (9420–9599). По справедливости распределения прибыли между агентами лучший результат у MADDPG и MASAC, наименее равномерное распределение – у DQN (индекс Джейна 0,957, коэффициент Джини 0,105).

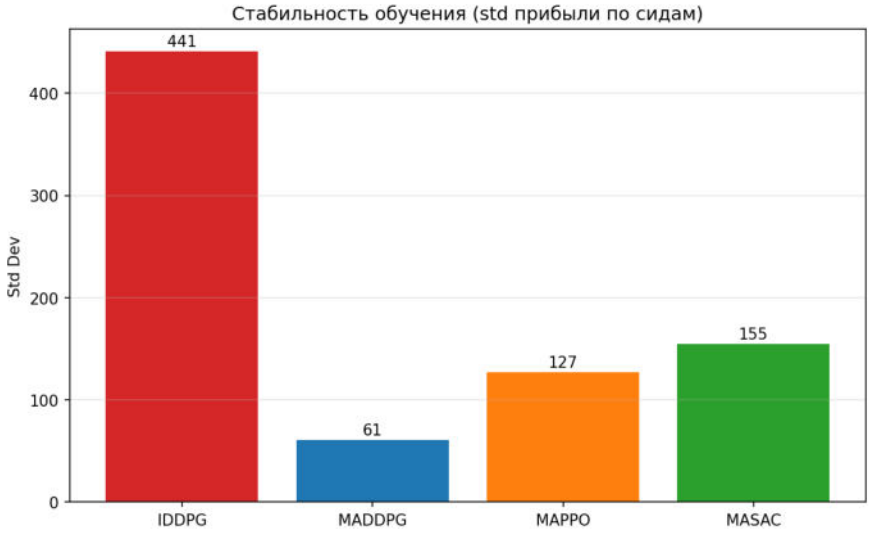


Рис. 3. Стабильность обучения мультиагентных методов: стандартное отклонение прибыли между запусками

Таблица 2

Итоговые метрики алгоритмов в единой среде

Алгоритм	Ср. прибыль	Индекс Джейна	Коэф. Джини
Q-Learning	9923,11	0,9992	0,0145
SARSA	9791,66	0,9998	0,0071
Double Q-Learning	9952,98	0,9998	0,0070
DQN	9654,80	0,9569	0,1047
IDDPG	9537,64	0,9988	0,0174
MADDPG	9420,88	1,0000	0,0019
MAPPO	9572,96	0,9971	0,0268
MASAC	9599,19	1,0000	0,0035

Интерпретация результатов

Полученные результаты зависят от критерия. По чистой прибыли в единой среде лидируют простые табличные методы. Преимущество мультиагентных методов проявляется не в прибыли, а в устойчивости и справедливости: переход от независимого обучения (IDDPG, коэффициент вариации финальной прибыли около 4,5%) к схемам с централизованной критикой (MADDPG, около 0,6%) заметно повышает стабильность обучения, а MADDPG и MASAC обеспечивают наиболее равномерное распределение прибыли между продавцами. С практической точки зрения при приоритете средней прибыли достаточно простых табличных методов, тогда как для устойчивого и сбалансированного поведения в конкурентной среде предпочтительны MADDPG и MASAC.

Выводы

В работе построен единый воспроизводимый фреймворк для сравнения классических одноагентных и мультиагентных алгоритмов обучения с подкреплением в задаче динамического ценообразования на маркетплейсе; среда основана на модели спроса CatBoost, обученной на реальных транзакционных данных открытого набора Online Retail II.

На одноагентном этапе обучение с подкреплением устойчиво превосходит неадаптивные стратегии (SARSA – на 17,95% выше фиксированной цены). В единой среде по прибыли

лидируют табличные методы, тогда как преимущество мультиагентных методов проявляется в устойчивости и справедливости: централизованная критика (MADDPG, MASAC) снижает дисперсию обучения и выравнивает распределение прибыли между продавцами.

Список литературы

1. Интернет-торговля в России по итогам 2025 года : [Электронный ресурс] / Ассоциация компаний интернет-торговли (АКИТ). – URL: https://akit.ru/news/analiz-sostoyaniya-internet-torgovli-v-rossii-po-itogam-2025-goda (дата обращения: 03.06.2026). – Текст : электронный.

2. Den Boer A. V. Dynamic pricing and learning: Historical origins, current research, and new directions / A. V. Den Boer // Surveys in Operations Research and Management Science. – 2015. – URL: https://doi.org/10.1016/j.sorms.2015.03.001 (дата обращения: 03.06.2026).

3. Deep reinforcement learning: a brief survey / K. Arulkumaran, M. P. Deisenroth, M. Brundage, A. A. Bharath // IEEE Signal Processing Magazine. – 2017. – URL: https://doi.org/10.1109/MSP.2017.2743240 (дата обращения: 03.06.2026).

4. Dynamic pricing on e-commerce platform with deep reinforcement learning: a field experiment / J. Liu, Y. Zhang, X. Wang, Y. Deng, X. Wu. – 2019. – URL: https://arxiv.org/abs/1912.02572 (дата обращения: 03.06.2026). – Текст : электронный.

5. Online Retail II UCI : [Электронный ресурс] / Kaggle. – URL: https://www.kaggle.com/datasets/mashlyn/online-retail-ii-uci (дата обращения: 03.06.2026). – Текст : электронный.

6. CatBoost: unbiased boosting with categorical features / L. Prokhorenkova, G. Gusev, A. Vorobev, A. V. Dorogush, A. Gulin. – 2018. – URL: https://arxiv.org/abs/1706.09516 (дата обращения: 03.06.2026). – Текст : электронный.

7. Multi-agent actor-critic for mixed cooperative-competitive environments / R. Lowe, Y. Wu, A. Tamar, J. Harb, P. Abbeel, I. Mordatch. – 2017. – URL: https://arxiv.org/abs/1706.02275 (дата обращения: 03.06.2026). – Текст : электронный.

8. The surprising effectiveness of PPO in cooperative multi-agent games / C. Yu, A. Velu, E. Vinitsky, J. Gao, Y. Wang, A. Bayen, Y. Wu. – 2022. – URL: https://arxiv.org/abs/2103.01955 (дата обращения: 03.06.2026). – Текст : электронный.

9. Soft actor-critic: off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor / T. Haarnoja, A. Zhou, P. Abbeel, S. Levine. – 2018. – URL: https://arxiv.org/abs/1801.01290 (дата обращения: 03.06.2026). – Текст : электронный.

УДК 004.62:004.82:005.7

СЕМАНТИКО-ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АРХИТЕКТУРНОГО РЕПОЗИТОРИЯ: СИНТЕЗ МЕТА-ОНТОЛОГИЙ И МЕТА-ГРАФОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОРПОРАТИВНЫМИ И ОТРАСЛЕВЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ

Бакстон В.В., бизнес-архитектор, SILA Union, г. Москва, Россия

SEMANTIC-TOPOLOGICAL MODEL OF AN ARCHITECTURE REPOSITORY: SYNTHESIS OF META-ONTOLOGIES AND META-GRAPHS FOR CORPORATE AND INDUSTRY ECOSYSTEM MANAGEMENT

Bakston V.V., Business Architect, SILA Union, Moscow, Russia

Аннотация

Развитие цифровых экосистем, платформенных бизнес-моделей и межорганизационных информационных взаимодействий повышает требования к архитектурным репозитори-

ям: от них требуется не только хранение моделей, но и проверка согласованности, выявление сквозных зависимостей и поддержка решений при трансформации. Цель исследования – разработать концептуальную семантико-топологическую модель архитектурного репозитория, в которой формальная мета-онтология задает смысл и ограничения архитектурных сущностей, а мета-граф представляет фактические объекты, отношения и контекст связей. Научная значимость работы состоит в разделении семантического и топологического контуров с явным механизмом их отображения, что позволяет корректно совместить подходы корпоративной архитектуры, онтологического моделирования и графовой аналитики. Методика включает анализ стандартов TOGAF и ArchiMate, формализацию структуры репозитория, определение метрик семантической согласованности и влияния изменений, а также сценарную проверку на сквозные зависимости «бизнес – данные – приложения – технологии». Получен архитектурный паттерн, поддерживающий автоматизированную валидацию правил, трассировку зависимостей и объяснимый impact analysis. Практическая ценность подхода связана с управлением цифровой трансформацией, технологической независимостью, межведомственной и межкорпоративной интеграцией, а также развитием архитектурных репозиториев как вычислимой базы знаний.

Ключевые слова: корпоративная архитектура; архитектурный репозиторий; мета-онтология; мета-граф; семантическая интероперабельность; анализ влияния; Enterprise Architecture Knowledge Graph; TOGAF; ArchiMate; SILA Union

Abstract

The growth of digital ecosystems, platform-based business models, and inter-organizational information exchange raises the requirements for architecture repositories: they are expected not only to store models, but also to validate consistency, reveal end-to-end dependencies, and support transformation decisions. The purpose of this study is to develop a conceptual semantic-topological model of an architecture repository in which a formal meta-ontology defines the meaning and constraints of architectural entities, while a meta-graph represents factual objects, relations, and relationship context. The scientific contribution is the explicit separation of semantic and topological contours with a mapping mechanism between them, enabling a consistent combination of enterprise architecture, ontology engineering, and graph analytics. The methodology includes analysis of TOGAF and ArchiMate standards, formalization of the repository structure, definition of semantic consistency and change-impact metrics, and scenario-based verification across the business-data-application-technology chain. The resulting architectural pattern supports automated rule validation, dependency tracing, and explainable impact analysis. Its practical value lies in digital transformation management, technological independence, inter-agency and inter-company integration, and the evolution of architecture repositories into computable knowledge bases.

Keywords: enterprise architecture; architecture repository; meta-ontology; meta-graph; semantic interoperability; impact analysis; Enterprise Architecture Knowledge Graph; TOGAF; ArchiMate; SILA Union

1. Введение

Корпоративная архитектура используется для согласования мотивации, стратегии, бизнес-возможностей, процессов, данных, приложений и технологий. Актуальные стандарты описания архитектуры ориентируют организации на системное представление архитектуры и ее использование при создании, модернизации и эксплуатации систем [1-3]. Для крупных компаний, холдингов, отраслевых платформ и цифровых контуров государственного управления эта задача осложняется количеством объектов, разнообразием источников данных и ростом числа внешних взаимодействий.

Традиционный архитектурный репозиторий хорошо решает задачу структурированного хранения элементов и отношений, заданных метамоделью языка. ArchiMate, например,

предоставляет единый язык для описания бизнес-, прикладного и технологического слоев и связей между ними [4]. Однако по мере роста модели появляется другой класс задач: необходимо сопоставлять понятия из разных доменов, фиксировать контекст самих отношений, автоматически проверять правила архитектурного управления и анализировать цепочки косвенного влияния. Исследования по онтологическому представлению ArchiMate показывают, что семантический слой может использоваться для интеграции разнородных моделей и машинной проверки их согласованности [5].

Параллельно развивается направление Enterprise Architecture Knowledge Graph (EAKG) – представление знаний о корпоративной архитектуре в форме графа, пригодного для автоматизированного анализа и логического вывода. В работах P.-L. Glaser и соавторов показана возможность преобразования ArchiMate-моделей в граф знаний и последующего обогащения такого графа для поиска архитектурных дефектов и зависимостей [6, 7]. В 2026 г. предложен онтологический подход к автоматизированной проверке принципов корпоративной архитектуры с использованием RDF/OWL (Resource Description Framework, RDF – базовая модель данных для представления знаний в виде триплетов / Web Ontology Language, OWL – язык для построения онтологий), SHACL (Shapes Constraint Language – язык валидации RDF-графов) и SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language – стандартный язык запросов и протокол для выборки и манипуляции данными в RDF-хранилищах) [7].

Проблема состоит в том, что семантическое описание предметной области и топология конкретной архитектуры часто рассматриваются либо как единый граф без четкого разделения функций, либо как независимые слои. Это затрудняет перенос правил между репозиториями и делает неочевидным, где заканчивается нормативное знание о допустимых типах связей и начинается фактическое состояние конкретной организации.

Цель исследования – предложить семантико-топологическую модель архитектурного репозитория, разделяющую мета-онтологию как формальный семантический каркас и мета-граф как топологическое представление фактических объектов и контекстных отношений, но объединяющую их механизмом отображения и единым контуром аналитики. Гипотеза исследования состоит в том, что такое разделение повышает расширяемость репозитория и создает основу для автоматизированной проверки архитектурных правил и сквозного анализа влияния без отказа от существующих языков моделирования.

2. Методика исследования

Работа относится к концептуально-методологическим исследованиям и использует элементы Design Science Research: формулируется проблема, проектируется артефакт в виде модели репозитория, после чего его свойства проверяются на типовом сценарии архитектурного анализа. Эмпирические показатели эффективности конкретного программного продукта в статье не заявляются; результаты относятся к конструкции модели и ее проверяемым функциональным свойствам.

Методика включает четыре этапа. На первом этапе анализируются нормативные и методические основания корпоративной архитектуры: TOGAF, ArchiMate и действующий ГОСТ Р 57100-2025 [4, 8].

На втором этапе уточняется семантическая часть модели на основе подходов RDF и OWL, где RDF задает графовую модель утверждений, а OWL – формальные классы, свойства и логические ограничения. На третьем этапе проектируется топологический слой, в котором архитектурные отношения могут рассматриваться как самостоятельные объекты с атрибутами, а для многоместных взаимодействий допускается гиперграфовое представление. На четвертом этапе выполняется сценарная верификация: изменение одного архитектурного элемента прослеживается через бизнес-, информационный, прикладной и технологический уровни.

Важно методологически развести понятия TBox и ABox. В логиках описаний TBox содержит терминологические аксиомы – классы, отношения и ограничения; ABox содержит утверждения о конкретных индивидуальных объектах. ABox может быть представлен средства-

ми RDF, но не является синонимом гиперграфа. В предлагаемой модели гиперграф или рефицированный граф выступает дополнительной топологической структурой для представления сложных отношений, тогда как TBox/ABox сохраняют свое исходное семантическое значение.

Для оценки проектируемой модели используются три критерия: семантическая согласованность (можно ли формально обнаружить нарушение заданных ограничений), топологическая прослеживаемость (можно ли построить путь влияния между архитектурными слоями) и расширяемость (можно ли подключить новый доменный словарь или тип связи без перестройки базовой модели).

3. Основная часть

3.1. Формальная конструкция семантико-топологического репозитория

Предлагаемый репозиторий рассматривается как композиция четырех взаимосвязанных компонентов. Мета-онтология O_m содержит словарь архитектурных классов, типы отношений, ограничения и правила вывода. Термин «мета-граф» в настоящей работе используется для обозначения топологического слоя G_m, содержащего экземпляры архитектурных объектов, фактические связи и контекст самих отношений; это авторское функциональное обозначение, а не замена понятий TBox/ABox. При необходимости отношение представляется как отдельный узел, которому присваиваются собственные свойства – стоимость, критичность, уровень сервиса, версия интерфейса или риск. Отображение μ связывает элементы мета-графа с понятиями мета-онтологии. Набор C содержит проверяемые ограничения и запросы.

Формально семантико-топологический репозиторий можно представить выражением (1):

$$R_{ST} = \langle O_m, G_m, \mu, C \rangle, \quad (1)$$

где O_m – мета-онтология; G_m – мета-граф; μ – отображение фактических элементов на семантические концепты; C – набор ограничений, правил и аналитических запросов. Такая конструкция принципиально не заменяет ArchiMate или TOGAF. Язык моделирования остается средством описания архитектуры для человека, а семантико-топологический контур становится вычислимым представлением, используемым для контроля и анализа.

Сопоставление функций традиционного и предлагаемого репозитория приведено в таблице 1.

Таблица 1

Сопоставление функций архитектурного репозитория

Критерий	Традиционный метамодельный репозиторий	Семантико-топологический репозиторий
Смысл сущностей	Определяется метамоделью и документацией	Формализуется в мета-онтологии; допускается логический вывод
Представление связей	Типизированные связи между элементами	Связи могут быть объектами с собственными атрибутами; допускаются многоместные отношения
Контроль правил	Преимущественно ручной или встроенные проверки инструмента	Формальные ограничения и автоматизированная валидация
Анализ влияния	Навигация по прямым и заданным связям	Графовый поиск по сквозным и косвенным зависимостям
Расширение	Изменение/расширение метамодели инструмента	Подключение доменной онтологии и правил отображения

Научная новизна предлагаемой модели заключается не в использовании онтологий или графов по отдельности – оба направления представлены в литературе [4-7], а в явной композиции двух контуров с различными ролями. Мета-онтология отвечает за допустимый смысл, а мета-граф – за фактическую структуру и контекст отношений. Благодаря отображению μ один и тот же топологический объект может проверяться относительно общекорпоративного, отраслевого или регуляторного словаря.

3.2. Архитектурный паттерн реализации

Практическая реализация модели может быть построена как двухконтурная надстройка над существующим EA-инструментом. Архитектор продолжает работать с привычными представлениями и нотациями, а интеграционный слой выгружает объекты, свойства и отношения через прикладной программный интерфейс (Application Programming Interface, API) или механизм обмена данными (извлечение-преобразование-загрузка; extraction-transformation-loading, ETL). Семантический слой хранит онтологию и ограничения, топологический – фактический граф зависимостей. Аналитический слой выполняет запросы, логический вывод и валидацию. Предлагаемая схема показана на рис. 1.

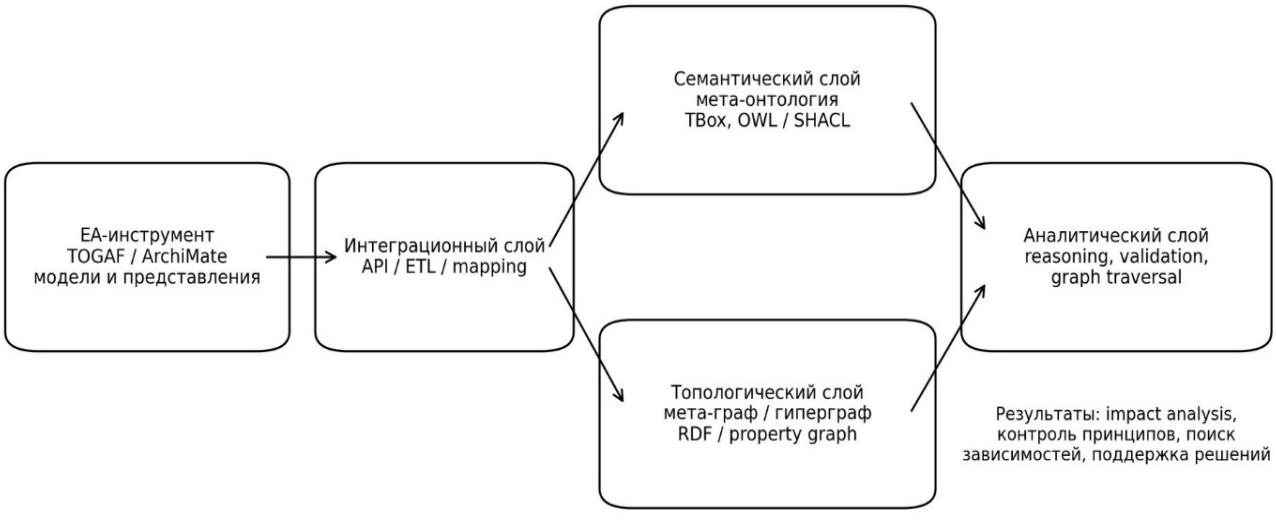


Рис. 1. Архитектурный паттерн семантико-топологического репозитория

Подобная архитектура согласуется с общим направлением исследований ArchiMEO и Enterprise Architecture Knowledge Graph, где ArchiMate-модели переводятся в онтологическое или графовое представление для машинного анализа [10]. В отличие от подхода, в котором весь репозиторий сразу фиксируется в одной семантической технологии, двухконтурная модель допускает технологическую независимость: онтологическая часть может быть реализована в RDF/OWL, а топологическая – в RDF-хранилище, property graph или иной графовой СУБД. Ключевым становится не конкретный продукт, а сохранение формального отображения между семантикой и фактами.

Для корпоративных и государственных цифровых экосистем это особенно важно при интеграции нескольких участников. Каждый участник может сохранять локальную модель и собственные справочники, а совместимость обеспечивается через согласованный верхнеуровневый словарь и правила отображения. Такой подход позволяет уменьшить зависимость от единой жесткой метамодели и поддерживать поэтапное расширение общей архитектурной модели.

3.3. Автоматизированная проверка и метрика семантической согласованности

Если архитектурные принципы и ограничения представлены формально, репозиторий может выполнять их автоматизированную проверку. Например, правило может запрещать

использование технологического компонента с истекшим сроком поддержки для критичного прикладного сервиса либо требовать наличия мастер-системы для определенного класса данных. Современные исследования демонстрируют применимость SHACL и SPARQL для объяснимой проверки принципов корпоративной архитектуры.

Для методической оценки результатов проверки предлагается коэффициент семантической согласованности K_s, определяемый выражением (2):

$$K_S = 1 - \frac{N_v}{N_c}, \quad (2)$$

где N_v – число выявленных нарушений, а N_c – число применимых к модели проверок. Значение K_s находится в диапазоне от 0 до 1. Метрика не претендует на универсальную оценку качества архитектуры: она показывает лишь долю успешно пройденных формализованных проверок и должна интерпретироваться вместе с критичностью конкретных нарушений.

Такой показатель удобен для повторяемого архитектурного контроля: набор правил фиксируется, а динамика K_s может сравниваться между версиями модели. В практическом контуре это позволяет превратить часть архитектурного ревью из ручной экспертной процедуры в воспроизводимый контроль.

3.4. Сквозной анализ влияния изменений

Второй ключевой сценарий – анализ влияния (impact analysis) архитектурного изменения. В обычной модели архитектор ищет зависимости по набору представлений и прямых связей. В метаграфе путь может строиться автоматически, включая рефицированные отношения и их атрибуты. Пример сквозного пути представлен на рис. 2.



Рис. 2. Сквозной путь анализа влияния изменения

Предположим, что организация должна заменить технологический компонент из-за прекращения поддержки, санкционного риска или требования технологической независимости. Мета-граф позволяет выявить не только приложения, непосредственно размещенные на компоненте, но и связанные интерфейсы, данные, бизнес-процессы и потребителей результата. Если отношения имеют атрибуты критичности, стоимости или уровня сервиса, путь влияния можно ранжировать.

Для приоритизации предлагается расчетный показатель влияния изменения I(x), представленный выражением (3):

$$I(x)=\sum v \in Reach(x) w(v)\cdot \alpha d(x,v), \quad (3)$$

где Reach(x) – множество достижимых из изменяемого объекта x элементов; w(v) – вес критичности элемента v; d(x,v) – длина кратчайшего пути; α – коэффициент затухания влияния, $0 < \alpha < 1$. Формула является методическим инструментом, а конкретные веса и значение α должны определяться организацией в соответствии с ее системой рисков и архитектурного управления.

В таблице 2 показано, как семантический и топологический контуры совместно работают на типовом сценарии замены компонента.

Таблица 2

Пример обработки сценария технологической замены

Шаг	Семантический контур	Топологический контур	Результат
1	Определяет класс «технологический компонент» и правило риска	Находит конкретный компонент и его атрибуты	Фиксируется объект изменения
2	Определяет допустимые типы зависимостей	Строит пути к приложениям, интерфейсам и данным	Получается карта прямых зависимостей
3	Применяет правила критичности и владения	Продолжает обход до процессов и потребителей	Выявляются косвенные эффекты
4	Проверяет ограничения целевой архитектуры	Сравнивает альтернативные пути/замены	Формируется объяснимый перечень рисков и приоритетов

Сценарий демонстрирует практическую значимость подхода для импортозамещения и модернизации ИТ-ландшафта: архитектурный репозиторий становится источником данных для обоснования последовательности миграции, а не только набором диаграмм. В государственном управлении аналогичная логика применима к изменению государственной информационной системы, межведомственного интерфейса или оценки регулирующего воздействия нормативного требования, когда необходимо установить затрагиваемые услуги, данные, интеграции и инфраструктуру.

3.5. Области применения и ограничения

Предлагаемая модель может быть полезна в трех типах задач. Первая – управление корпоративной архитектурой в крупной организации, где требуется связать стратегические инициативы, процессы, информационные объекты, приложения и технологии. Вторая – отраслевой или экосистемный контур, в котором несколько организаций должны согласовать понятия и интерфейсы, сохраняя собственные внутренние модели. Третья – цифровое государственное управление, где архитектурная модель должна поддерживать прослеживаемость между услугами, информационными ресурсами, системами и межведомственными взаимодействиями.

Практическая применимость модели зависит от качества исходного репозитория. Формальная семантика не компенсирует отсутствующие или неактуальные связи. Поэтому внедрение должно начинаться с определения минимального набора обязательных сущностей и отношений, правил их актуализации и владельцев данных. Второе ограничение связано со стоимостью формализации: чем больше правил переносится в онтологию, тем выше требования к архитектурной дисциплине и квалификации команды.

Третье ограничение – вычислительная сложность. Глубокий поиск по графу и логический вывод на больших репозиториях требуют оптимизации запросов, разделения оперативных и аналитических контуров и, при необходимости, предварительного расчета критичных зависимостей. Наконец, предложенные метрики K_s и I(x) требуют эмпирической калибровки на реальных проектах. Это является направлением дальнейшей проверки модели, а не уже доказанным эффектом.

Таким образом, семантико-топологический подход следует рассматривать как архитектурный паттерн расширения, а не как универсальную замену существующих средств моделирования. Его ценность проявляется там, где репозиторий должен стать вычислимой основой управления изменениями.

4. Выводы

В исследовании предложена семантико-топологическая модель архитектурного репозитория, основанная на разделении двух взаимодополняющих контуров: мета-онтологии, определяющей формальный смысл, ограничения и правила, и мета-графа, фиксирующего конкретные объекты, связи и контекст отношений. Между контурами вводится отображение, позволяющее проверять фактическую архитектуру относительно корпоративных, отраслевых или регуляторных правил.

В отличие от исходной трактовки, TBox/ABox не отождествляются с гиперграфом: TBox и ABox сохраняют роль терминологического и фактологического компонентов онтологии, а мета-граф используется как отдельный топологический механизм. Это повышает корректность модели и делает возможным независимый выбор технологий хранения и логического вывода.

Результатом работы является архитектурный паттерн, который поддерживает три практически значимых функции: автоматизированную проверку архитектурных ограничений, сквозную трассировку зависимостей и ранжирование влияния изменений. Предложенные показатели семантической согласованности и влияния задают основу для измеримого архитектурного контроля, однако требуют последующей эмпирической калибровки.

Практическое применение подхода возможно при управлении цифровой трансформацией, импортозамещением, развитием корпоративной и ИТ-архитектуры, а также в межотраслевых и государственных цифровых экосистемах. Следующий этап исследования должен включать прототипирование интеграционного слоя, апробацию на реальном архитектурном репозитории и сравнение трудоемкости ручного и автоматизированного анализа влияния.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках совместной экспертной и образовательной работы SILA Union с вузами-партнерами по развитию практик бизнес- и корпоративной архитектуры. Автор выражает благодарность участникам профессиональных и академических обсуждений, чьи замечания способствовали уточнению методологической постановки исследования.

Список литературы

1. Алтухова, Н. Ф. Цифровизация государственного и корпоративного управления: онтологическое моделирование как инструмент реализации стратегических инициатив / Н. Ф. Алтухова // Вопросы инновационной экономики. – 2026. – Т. 16, № 1. – С. 88-104. https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-gosudarstvennogo-finansovogo-kontrolya-ontologicheskoe-modelirovanie-kak-instrument-dlya-realizatsii/viewer

2. Алуев, Е. А. Семантическое слияние данных на основе графов знаний: интеграция структурированных и неструктурированных данных для раскрытия контекстного интеллекта / Е. А. Алуев, М. А. Булычева // Двенадцатая международная научно-практическая конференция BIG DATA and Advanced Analytics, Минск, Республика Беларусь, 23 апреля 2026 года. – С. 72.

3. Стасевич, Д. И. Цифровые инструменты поддержки процессного управления: анализ опыта российских компаний / Д. И. Стасевич // Информационные технологии в управлении. – 2025. – № 2. – С. 112–119.

4. The Open Group. TOGAF Standard, 10th Edition: Integrating Knowledge Graphs and Semantic Web Technologies. Van Haren Publishing, 2024. 410 p.

5. Montecchiari D., Laurenzi E., Hinkelmann K., Thönssen B. Ontology-Based Validation of Enterprise Architecture Principles // Applied Sciences. 2026. Vol. 16, № 7. Art. 3352. DOI: 10.3390/app16073352.

6. Glaser P.-L., Ali S.J., Sallinger E., Bork D. Model-Based Construction of Enterprise Architecture Knowledge Graphs // Enterprise Design, Operations, and Computing. LNBI 13585. Cham: Springer, 2022. P. 57-73. DOI: 10.1007/978-3-031-17604-3_4.

7. Графы знаний + RAG: как графы знаний спасают корпоративные данные от деградации контекста / vc.ru. – Текст : электронный. – URL: https://vc.ru/ai/3049879-grafy-znanij-i-rag?ysclid=mta90aa6b118250545 (дата обращения: 19.08.2026).

8. The Open Group. ArchiMate® 3.2 Specification. Reading: The Open Group, 2022. URL: https://www.opengroup.org/archimate-licensed-downloads (дата обращения: 26.08.2026).

9. Тополева, Т. Н. Моделирование цифровой платформы инновационной производственной экосистемы региона / Т. Н. Тополева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 19, № 4. https://naukaru.ru/ru/nauka/article/92891/view?ysclid=mta9gcnan841959218.

10. Yuyuan Feng Graph Engineering in the Era of LLM Agents: From Individual Intelligence to System Intelligence // arXiv. – 2026. – С. 13 https://arxiv.org/pdf/2608.21156.

УДК 004.891:005.52

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ АНАЛИТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ БИЗНЕСА, УСИЛЕННЫХ ИИ, В 2026 ГОДУ В РФ

Бобок А.С., к.ф.-м.н., директор департамента аналитических решений ООО «Рафт Диджитал Солюшенс», г. Иркутск, Россия;
ORCID: 0009-0006-7522-6823

REVIEW OF THE AI-POWERED BUSINESS ANALYTICS SOLUTIONS IN THE RUSSIA, 2026

Bobok A.S., PhD, Director of the Analytical Solutions Department, Raft Digital Solutions LLC, Irkutsk, Russia;
ORCID: 0009-0006-7522-6823

Аннотация

В статье рассматриваются доступные в РФ аналитические решения, усиленные технологиями искусственного интеллекта, по состоянию на 2026 год. Показано, что после ухода зарубежных поставщиков и волны импортозамещения запрос организаций сместился с функциональной полноты платформы бизнес-аналитики на доступность решения, его близость к отрасли и рабочему процессу заказчика, прослеживаемость экономического эффекта и малый горизонт возвратности инвестиций. При этом в индустрии наблюдается разрыв между метриками, демонстрируемыми решениями на синтетических наборах данных, и результатами, что показываются на реальных корпоративных хранилищах. Показано, что причины разрыва лежат не столько в качестве используемых LLM моделей, а больше связаны со спецификой корпоративных схем данных, отсутствием в них отраслевых и корпоративных правил расчёта показателей. В качестве методического инструмента предложена рамка из пяти критериев оценки решения: отраслевая специфика, бизнес-функциональная специфика, интеграция в информационный ландшафт организации, гибкость инфраструктуры поставки и ролевые сценарии работы. По этим критериям выполнено сопоставление предложений российских поставщиков и представлены механизмы, которыми специфика заказчика переносится в продукт: семантический слой, ансамбль специализированных моделей, контур поиска с дополненной генерацией по внутренним регламентам, интеграционный слой поверх учётных систем и разграничение прав доступа отдельно от сценария роли. Отдельно обозначены задачи, которые платформы пока не закрывают: неструктурированные источники, автоматическая нормализация данных и поиск закономерностей без наводки пользователя. Результаты

работы применимы при выборе поставщика аналитического решения, при проектировании пилотных внедрений и при формировании коммуникационных площадок между заказчиками и инноваторами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, бизнес-аналитика, семантический слой, преобразование естественного языка в запрос, поиск с дополненной генерацией, импортозамещение, возвратность инвестиций, технологическое предпринимательство, отраслевая специфика, российский рынок программного обеспечения

Abstract

The paper reviews the Russian market of artificial intelligence enhanced business analytics solutions as of 2026. After the exit of foreign vendors and the import substitution wave, customer demand shifted from functional completeness of a business intelligence platform towards affordability, proximity to the customer industry and workflow, traceability of the economic effect and an acceptable payback horizon. The key obstacle here is the gap between the performance of large language models on public text-to-SQL evaluation datasets and their performance on real corporate data warehouses: execution accuracy drops from a level comparable to the human baseline to roughly one tenth. The causes lie mostly outside model quality and relate to the size and naming conventions of corporate data schemas and to the absence of industry and company specific calculation rules in them. As a methodological instrument, the paper proposes a framework of five axes of solution proximity to the customer: industry specificity, business function specificity, integration into the information landscape, flexibility of the delivery infrastructure and role based usage scenarios. Vendor offerings are compared along these axes, and the mechanisms that inject customer specificity without forking the product for every deployment are described: a semantic layer, an ensemble of specialised models, a retrieval augmented generation loop over internal regulations, an integration layer on top of accounting systems, and access rights separated from the role scenario. Unresolved tasks are outlined separately: unstructured sources, automatic data normalisation and pattern discovery without user guidance. The results are applicable to vendor selection, pilot design and to communication platforms between customers and innovators.

Keywords: artificial intelligence, business intelligence, semantic layer, text-to-SQL, retrieval augmented generation, import substitution, return on investment, technology entrepreneurship, industry specificity, Russian software market

Введение

Российский рынок аналитических решений за несколько лет прошёл смену технологического уклада: в 2022 г. с рынка ушли зарубежные платформы, что сформировало определенный вакуум и запустило конкурентную борьбу отечественных поставщиков за клиента. Параллельно происходило освоение больших языковых моделей в контуре корпоративной аналитики. К 2026 г. эти процессы сформировали обновленный запрос организаций к продукту: не широко-функциональная платформа, а доступное решение, близкое к пользователю и отрасли, с прослеживаемыми бизнес-эффектами и небольшим горизонтом возвратности инвестиций.

Экономический фон задаётся глобальным инвестиционным циклом: объём корпоративных инвестиций в ИИ в мире достиг 581,7 млрд долларов США в 2025 г. (рост на 130%), из них 344,7 млрд частных вложений [1]. Такой масштаб вливаний повышает требовательность заказчика к измеримости результата: инвестиционный цикл в аналитике перестал быть исследовательским и стал предпринимательским.

Цели работы:

– рассмотреть BI-платформы с ИИ-слоем как пример инновации, интегрированной в бизнес и перестраивающей цикл принятие решений внутри отрасли;

– систематизировать доступные решения и предложить рамку оценки, пригодную как для клиентской стороны, так и вендора;

– выявить точки роста экономического эффекта.

Методика

Работа построена как обзорное исследование и опирается на три группы материалов:

– публичные результаты оценки качества преобразования естественно-языкового вопроса в запрос к базе данных (задача text-to-SQL), где сопоставление на наборах данных разной природы служит индикатором разрыва между лабораторными и промышленными условиями;

– открытые материалы российских поставщиков;

– практика департамента аналитических решений ООО «Рафт Диджитал Солюшенс» по внедрению систем с ИИ-слоем в различных бизнес-функциях, где качественные наблюдения по отраслям изложены автором в обзоре [2], а подходы к переходу от экспериментов с ИИ к устойчивой возвратности инвестиций в работе [3].

Методическим инструментом служит рамка из пяти критериев, по которым оценивается способность платформы поддержать специфику заказчика: отрасль, бизнес-функция, интеграция в информационный ландшафт, гибкость инфраструктуры поставки, ролевые сценарии. Текущее сопоставление вендоров опирается на публично заявленные характеристики продуктов, поскольку отраслевого бенчмарка для российских платформ с ИИ пока не существует.

Основная часть

Разрыв между бенчмарками и корпоративной реальностью

На популярном наборе синтетических данных BIRD лидер российского сегмента модель Sber Text2SQL показывает метрику точности выполнения (execution accuracy) 81,33% при человеческом базовом уровне 92,96% [4].

На практических примерах ситуация меняется кардинально: так, например, бенчмарк BEAVER, который построен на реальных данных, извлеченных из различных КХД, и на исторически запросах из истории обращений, даёт лишь 11% по тому же показателю на решении-лидере. При семантических подсказках показатель чуть подрастает до 30,1% [5]. Такую же картину видим на фреймворке оценки Spider 2.0, эмулирующем полные рабочие процессы корпоративной аналитики: лидер бенчмарка решает 21,3% задач против 73,0% на BIRD [6] (табл. 1).

Таблица 1

Результаты моделей на наборах данных разной природы

Набор данных	Природа данных	Таблиц в схеме	Лучший результат, %	Человек, %
BIRD	Открытые наборы данных	6,8	81,33	92,96
Spider 2.0	Корпоративные рабочие процессы	Более 10	21,3	не измерялся
BEAVER	Частные корпоративные хранилища	101,5	около 11 (30,1 с подсказкой)	не измерялся

Корень разрыва в 3 факторах:

– размер схемы – в базах BEAVER в среднем 101,5 таблицы и 869,4 колонки против 6,8 и 72,5 в BIRD;

– именование данных – технические идентификаторы вида SIS_SUBJECT_CODE в BEAVER вместо семантически прозрачных orders и customers;

– провал в доменных знаниях – отраслевые и внутренние правила расчёта показателей не описаны ни в схеме, ни в данных.

Все причины относятся к контексту, а не к качеству модели, т.е. рычагом улучшения является не дообучение модели, а способ передачи ей организационного контекста, и «близость» к клиенту становится обязательным свойством решения.

Отраслевая специфика

Любая аналитическая платформа по умолчанию отрасль-агностик: она не знает узкоспециализированного глоссария и процессов, т.к. отраслевую логику невозможно перенести на следующее внедрение продукта.

Отсюда возникают два механизма добавления контекста:

1) Через описанный семантический слой: dbt Semantic Layer, Cube, LookML, семантические модели Power BI, AtScale появились задолго до генеративного ИИ ради согласованности показателей между отчётами, но с приходом LLM превратились из фактора обеспечения удобства в условие работоспособности. Реализуется слой как каталог витрин: у каждой колонки есть человекочитаемое название, у каждого показателя есть готовая формула, у бизнес-терминов есть список синонимов, поэтому модель получает не голую схему, а описание на языке организации. Определение показателя фиксировано, а единицы измерения и временные периоды заданы в метаданных, поэтому один вопрос в разных формулировках приводит к одинаковому результату.

2) Ансамбль моделей, то есть разделение конвейера на подсистемы: распознавание намерения (интента), генерация запроса, интерпретация результата, выбор визуализации. Шаг распознавания намерения наиболее восприимчив к отраслевому глоссарию, и именно на нем подключается отраслевая модель (в металлургии это, например, MetalML), тогда как остальные шаги остаются общими. При этом заменить одну легковесную модель дешевле, чем дообучать большую под каждую отрасль.

Бизнес-функциональная специфика

Бизнес-словарь содержит правила конкретного рабочего процесса: например, что закупка свыше определенного порога в организации требует тендерной процедуры. Такие правила описаны во внутренних регламентах и обычно подключаются через RAG (Retrieval Aaugmented Generation), объединяющий параметрическую память модели с внешним индексируемым хранилищем знаний [7]: база знаний индексируется отдельно от витрин, и ассистент обращается к ней на шаге интерпретации.

Разница видна на примере из практики: непрямые закупки в компании сектора товаров повседневного спроса, на аналитический запрос «показать закупки по категории ремонт оборудования за квартал и отметить проблемные» ассистент с подключённой базой знаний регламентов извлекает пороги конкурентных процедур, возвращает нарушения конкретных пунктов с ссылкой на регламент под каждым.

Ключевой момент такой мультиагентной архитектуры состоит в том, что числа в ответе всегда приходят из исполненного SQL запроса, модель их не генерирует, а база знаний влияет на интерпретацию и формулировку рекомендации, но не на итоговую цифру, тем самым исключая риск «галлюцинаций».

Интеграция в ИТ-ландшафт и инфраструктура поставки

Классические платформы бизнес-аналитики рассчитаны на структурированные витрины и подключаются на чтение к реляционным системам управления базами данных, таким как PostgreSQL, MS SQL, ClickHouse и другие. Схема работает у заказчиков с построенным хранилищем, но у среднестатистического российского предприятия зачастую его нет, а есть уровень учетной системы. Просить такого заказчика выстроить хранилище означает отодвинуть пилот на год, поэтому в интеграционном слое появляется экстрактор из учётной системы, раскладывающий регистры и справочники в плоские витрины на стороне платформы.

Еще один типичный сбой внедрения: через месяц после запуска журналы показывают, что ключевой пользователь заходил в интерфейс решения один раз в день приемки. Для

решения этой проблемы ассистент должен предоставлять удобный пользователю интерфейс, завязанный на ролевой модели и системе прав.

Третий блок – инфраструктурный: платформа должна отвечать ограничениям, что приходят от служб ИБ и ИТ. К 2026 г. рынок сошёлся на четырёх возможных форматах поставки: облако, когда всё размещено у провайдера и нужен быстрый старт; гибрид, когда инференс модели идёт в облаке, а платформа и данные остаются у заказчика; локальная версия в закрытом контуре; программно-аппаратный комплекс (ПАК) «под ключ». При полной изоляции исходящий трафик пропадает совсем; в остальных случаях поставщик модели выбирается настройкой, поэтому смена провайдера не превращается в переписывание приложения. Регуляторные требования (№ 152-ФЗ, № 187-ФЗ, ГОСТ Р 57580.1, аттестаты ФСТЭК) подтверждаются, как правило, на уровне инфраструктурного провайдера, и платформа наследует их от площадки; за периметр при этом уходят только заголовки и токенизированные агрегаты, поэтому персональные данные и содержимое витрин внешняя модель в такой конфигурации не видит.

Ролевые сценарии

Когда всем пользователям отдают одинаковое поведение ассистента, возникает еще один типовой сбой: коммерческий директор получает таблицу на сотню строк и больше не возвращается. Один и тот же вопрос «что с закупками» в зависимости от роли должен раскрываться по-разному: директор хочет понимать отклонение от плана и общий тренд, а аналитику нужно показывать динамику по номенклатурным группам и воспроизводимый запрос под каждой цифрой.

При этом важно разделять два механизма:

– права доступа определяют, что пользователь может увидеть, и одинаковы во всех каналах: ассистент физически не вернёт данные вне сегмента пользователя, потому что их нет в результате исполнения запроса.

– сценарий роли описывает, что пользователю полезно увидеть из доступного, влияя на глубину и форму ответа, но прав не расширяет; смешивание этих механизмов является распространённой ошибкой проектирования.

Отсюда требование, которое желательно удовлетворять до старта внедрения: утверждённое описание бизнес-сценария с примерами пар «вопрос-ответ» по каждой роли.

Ответ российского рынка

К 2026 г. ИИ-слой появился у многих российских платформы бизнес-аналитики, при этом вендоры решений заходят в задачу с разных сторон (табл. 2).

Таблица 2

Позиционирование российских аналитических решений с ИИ-слоем

Решение	Акцент и ключевой механизм
Luxms BI	Доступ к данным без языка запросов: ИИ-аналитик строит кубы, модели и дашборды и объясняет результат; локальные модели [8]
Modus BI	Скорость разведочного анализа: собственный сервер протокола подключения моделей к данным [9]
Raft AI4BI	Отраслевая и функциональная близость: ансамбль моделей, RAG-слой, экстракторы из учётных систем, поставка от облака до ПАК [10]
Easy Report	Канал доставки: отчёты в чате мессенджера
Visiology	Периметр: собственная языковая модель поверх аналитического движка
Yandex DataLens	Массовая доступность встроенного ассистента

Показателен эксперимент команды Modus BI: человек без опыта работы с платформой за четыре часа собрал целевые дашборды, при этом специалисты вендора подсвечивают, что «на сложных взаимосвязях человек всё равно необходим» [9].

Общее у всех решений: интерфейс на естественном языке поверх модели данных, при этом все вендоры по-разному подходят к оценке того, что считать главной проблемой: доступ к данным, канал доставки ответа либо периметр и лицензирование. Ни один из ответов сам по себе не достаточен, и закрытие одного не компенсирует провала по остальным.

Что пока не решено

Три класса задач платформы пока не закрывают.

Первый – это неструктурированные источники: документы, переписка и изображения остаются за границами платформы, а RAG-контур принимает регламенты как контекст интерпретации, но не как источник цифр.

Второй – это автоматическая нормализация: если контрагент заведён в витрине трижды с разным написанием, ассистент посчитает по тому, что есть.

Третий – поиск закономерностей без наводки: формулировка гипотезы остаётся пока за человеком.

Экономика внедрения и коммуникация с заказчиком

Решающим фактором внедрения становится не функциональность платформы, а способность команды совместно с заказчиком описать контекст: вероятность успеха повышают итеративный подход с измеримым результатом на каждом шаге, доступ к лицам, принимающим решения, и фиксация целевых метрик до начала разработки [3]. Отсюда вывод для поддержки технологического предпринимательства: основным дефицитом здесь является не капитал и не технология, а канал согласования контекста между заказчиком и инноватором, и коммуникационные площадки (конференции, форумы, совместные пилоты с вузами и региональными центрами компетенций) снижают стоимость этого согласования.

Выводы

1. Основное препятствие для устойчивого экономического эффекта лежит не в качестве моделей, а в передаче им организационного контекста.

2. Оценивать зрелость решения целесообразно по пяти критериям адаптивности к заказчику: отраслевая и бизнес-функциональная специфика, интеграция в информационный ландшафт, гибкость инфраструктуры поставки, ролевые сценарии. При этом закрытие одной оси не компенсирует провала по остальным.

3. Механизмы внесения специфики должны быть внешними по отношению к коду продукта: семантический слой, ансамбль моделей, RAG-контур по внутренним регламентам, экстракторы из учётных систем. Права доступа и сценарий роли при этом разделяются архитектурно: ограничение видимости, реализованное подсказкой модели, обходится подбором формулировки вопроса.

4. Российский рынок к 2026 г. покрывает основные инфраструктурные и регуляторные ограничения заказчиков, включая полностью изолированный контур и ПАК; незакрытыми остаются неструктурированные источники, автоматическая нормализация данных и поиск закономерностей без наводки пользователя.

5. Ключевым инструментом поддержки технологического предпринимательства в этом сегменте является организация коммуникационных площадок между заказчиками и инноваторами: именно стоимость согласования отраслевого и корпоративного контекста, а не стоимость технологии, определяет сегодня горизонт возвратности инвестиций в аналитические решения с ИИ.

Список литературы

1. The 2026 AI Index Report. Economy : сайт. – URL: https://hai.stanford.edu/ai-index/2026-ai-index-report/economy (дата обращения: 30.08.2026).

2. Бобок, А. С. Хочу близости – обзор РФ рынка аналитических решений с ИИ в 2026 : сайт. – URL: https://habr.com/ru/companies/raft/articles/1073552/ (дата обращения: 30.08.2026).

3. Бобок, А. С. Искусственный интеллект для бизнеса: на пути от экспериментов к устойчивой возвратности инвестиций / А. С. Бобок // Шаг в будущее: глобальный форсайт, искусственный интеллект и стратегическое лидерство : сборник научных статей VII Международного научного форума : в 2 томах. Том 1 / под общей редакцией П. В. Терелянского. – Москва : ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2025.

4. Li, J. Can LLM Already Serve as A Database Interface? A BIg Bench for Large-Scale Database Grounded Text-to-SQLs / J. Li, B. Hui, G. Qu [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems 36 (NeurIPS 2023). – 2023. – arXiv:2305.03111. – URL: https://bird-bench.github.io/ (дата обращения: 30.08.2026).

5. Chen, P. B. BEAVER: An Enterprise Benchmark for Text-to-SQL / P. B. Chen, D. Yang, W. Li [et al.]. – 2024. – arXiv:2409.02038. – URL: https://arxiv.org/abs/2409.02038 (дата обращения: 30.08.2026).

6. Lei, F. Spider 2.0: Evaluating Language Models on Real-World Enterprise Text-to-SQL Workflows / F. Lei, J. Chen, Y. Ye [et al.] // The Thirteenth International Conference on Learning Representations (ICLR 2025). – 2024. – arXiv:2411.07763. – URL: https://arxiv.org/abs/2411.07763 (дата обращения: 30.08.2026).

7. Lewis, P. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, E. Perez, A. Piktus [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems 33 (NeurIPS 2020). – 2020. – arXiv:2005.11401. – URL: https://arxiv.org/abs/2005.11401 (дата обращения: 30.08.2026).

8. Luxms BI : сайт. – URL: https://luxmsbi.ru/ (дата обращения: 30.08.2026).

9. Modus BI. Аналитическая платформа : сайт. – URL: https://modusbi.ru/products/analytic/ (дата обращения: 30.08.2026).

10. Raft AI4BI : сайт. – URL: https://ai4bi.raftds.ru/ (дата обращения: 30.08.2026).

УДК 004.738.5

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ САЙТОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И B2B-КОМПАНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ (PWA)

Ванюшев А.А., магистрант;
ORCID: 0009-0000-0091-0686;
E-mail: alex_von1@mail.ru;
Зарайский С.А., к.т.н., доцент кафедры АСОИУ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-3526-6890;
E-mail: ringo123@rambler.ru

METHODOLOGY FOR DEVELOPING WEBSITES FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES AND B2B COMPANIES BASED ON PROGRESSIVE WEB APPS (PWA)

Vaniushev A.A., Master's Student;
ORCID: 0009-0000-0091-0686;
E-mail: alex_von1@mail.ru;
Zarayskiy S.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Automated Information Processing and Control Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-3526-6890;
E-mail: ringo123@rambler.ru

Аннотация

В статье рассматривается методология создания корпоративных сайтов для промышленных предприятий и компаний рынка «бизнес для бизнеса» (B2B) с применением прогрессивных веб-приложений (Progressive Web Applications, PWA). Цель исследования заключается в формировании последовательного подхода, позволяющего ускорить запуск цифрового решения, обеспечить его централизованное сопровождение и постепенно расширять функциональность без разработки отдельных приложений для каждой платформы. Методология включает разделение клиентской и серверной частей, настройку Web App Manifest и Service Worker, реализацию прогрессивного улучшения, тестирование офлайн-сценариев, автоматизированное развертывание и сбор обратной связи. Предложен модульный принцип, при котором из проверенных компонентов создаются шаблоны для торговых сетей, сервисных центров и промышленных компаний, а заказчик самостоятельно выбирает необходимые функции: каталог, интернет-магазин, личный кабинет, запись клиентов, уведомления, оплату услуг и корпоративные интеграции. Установлено, что единая кодовая база упрощает изменение дизайна, сокращает объем повторной разработки и обеспечивает централизованную публикацию обновлений, однако PWA не заменяет нативные приложения в задачах, требующих максимальной производительности и глубокого доступа к аппаратным возможностям устройства. Отдельное внимание уделено информационной безопасности, включая применение HTTPS, серверную проверку данных, разграничение доступа, аудит зависимостей и резервное копирование, а также соблюдение условий открытых лицензий используемых компонентов. Практическая применимость технологии подтверждается проектами Alibaba.com и BMW.com, а конкурентное преимущество методологии заключается в модульности, повторном использовании компонентов, сокращении затрат и адаптации решения под требования заказчика.

Ключевые слова: прогрессивное веб-приложение, PWA, Web App Manifest, Service Worker, прогрессивное улучшение, модульная архитектура, B2B, офлайн-режим, непрерывная доставка, информационная безопасность

Abstract

The article examines a methodology for developing corporate websites for industrial enterprises and business-to-business (B2B) companies using Progressive Web Applications (PWAs). The research aims to establish a consistent approach that accelerates the launch of a digital solution, supports centralized maintenance, and enables gradual functional expansion without developing separate applications for each platform. The methodology includes client-server separation, Web App Manifest and Service Worker configuration, progressive enhancement, offline-scenario testing, automated deployment, and feedback collection. A modular principle is proposed in which verified components are used to create templates for retail chains, service centers, and industrial companies, while customers select the required functions, including a catalog, online store, personal account, appointment scheduling, notifications, service payments, and corporate integrations. The study demonstrates that a shared codebase simplifies design changes, reduces duplicated development effort, and enables centralized delivery of updates; however, PWAs cannot replace native applications when maximum performance or deep access to device hardware is required. Particular attention is paid to information security, including HTTPS, server-side data validation, access control, dependency audits, data backup, and compliance with the open-source licenses of the components used. The practical applicability of the technology is demonstrated by Alibaba.com and BMW.com, while the competitive advantage of the methodology lies in modularity, component reuse, cost reduction, and adaptation to customer requirements.

Keywords: Progressive Web Application, PWA, Web App Manifest, Service Worker, progressive enhancement, modular architecture, B2B, offline mode, continuous delivery, information security

Введение

Промышленным предприятиям и B2B-компаниям необходимо быстро запускать цифровые сервисы для партнеров и клиентов, сохраняя возможность их последующей модернизации. Разработка отдельных нативных приложений для разных операционных систем увеличивает объем повторных работ и усложняет распространение обновлений. Прогрессивное веб-приложение (Progressive Web Application, PWA) представляет собой веб-приложение, которое при поддержке браузера может устанавливаться на устройство, работать с локальным кэшем и использовать отдельные возможности платформы [1].

PWA остается доступным по обычному веб-адресу и развивается по принципу прогрессивного улучшения: базовые сценарии работают в широком наборе браузеров, а дополнительные возможности подключаются там, где они поддерживаются. Поэтому подход особенно полезен для корпоративных решений, которым важны единая кодовая база, быстрые обновления и доступ с телефона, планшета и персонального компьютера. Ключевые возможности PWA представлены на рис. 1.



Рис. 1. Ключевые возможности прогрессивного веб-приложения

Методика разработки

Предлагаемая методика начинается с декомпозиции пользовательского интерфейса и серверной логики. Клиентский слой отвечает за отображение и взаимодействие, а сервер предоставляет программный интерфейс приложения, выполняет бизнес-операции и обращается к базе данных. Далее подключается файл Web App Manifest, который описывает название, значки и режим запуска установленного приложения [2]. Service Worker работает отдельно от основного интерфейса, перехватывает сетевые запросы и управляет кэшированием, что позволяет реализовать контролируемые офлайн-сценарии [3].

После настройки PWA-слоя реализуются основные бизнес-функции, выполняются функциональные проверки и проверки производительности, а изменения публикуются через автоматизированный конвейер сборки и развертывания. Отдельный контроль необходим для стратегии кэширования: устаревшая версия Service Worker не должна блокировать получение актуальных данных. Пошаговая связь между действиями, программными модулями и результатами показана на рис. 2.



Рис. 2. Пошаговый сценарий развертывания PWA

Миграция существующего сайта выполняется постепенно. Сначала сервер продолжает обслуживать действующие сценарии, а отдельные экраны переносятся в клиентское приложение. Затем добавляются установка, локальное кэширование, уведомления и фоновая синхронизация. Такой порядок снижает риск по сравнению с полным переписыванием системы и позволяет проверять результат после каждого выпуска. Сравнительные исследования также показывают, что выбор между PWA и кроссплатформенным либо нативным приложением должен учитывать требуемую производительность, доступ к функциям устройства и ожидаемое качество пользовательского опыта [4].

Практическая реализация методологии

Для клиентской части могут применяться React и Next.js, для хранения данных – PostgreSQL, а для типизированного доступа к базе – Drizzle ORM. На сервере Nginx может выполнять функции обратного прокси, а PM2 – управлять процессами Node.js. Конкретный набор инструментов не является обязательной частью PWA: методология определяет последовательность проектирования, проверки и выпуска, а технологический стек выбирается с учетом инфраструктуры предприятия и компетенций команды.

Интеграционный слой связывает приложение с корпоративной системой управления взаимоотношениями с клиентами (Customer Relationship Management, CRM), электронной почтой, платежными сервисами и внешними программными интерфейсами. Для защиты данных используются HTTPS, аутентификация, разграничение прав, серверная валидация, журналирование, резервное копирование и регулярная проверка зависимостей. Само наличие HTTPS не гарантирует безопасность: конфигурация сервера, политика доступа и обновление библиотек должны контролироваться на протяжении всего жизненного цикла.

После публикации собираются технические метрики и обратная связь пользователей. На их основе формируются небольшие улучшения, которые снова проходят тестирование и развертывание. Итеративный цикл, представленный на рис. 3, связывает запуск шаблона, настройку PWA-компонентов, подключение бизнес-функций, контроль качества, публикацию и последующее развитие продукта.

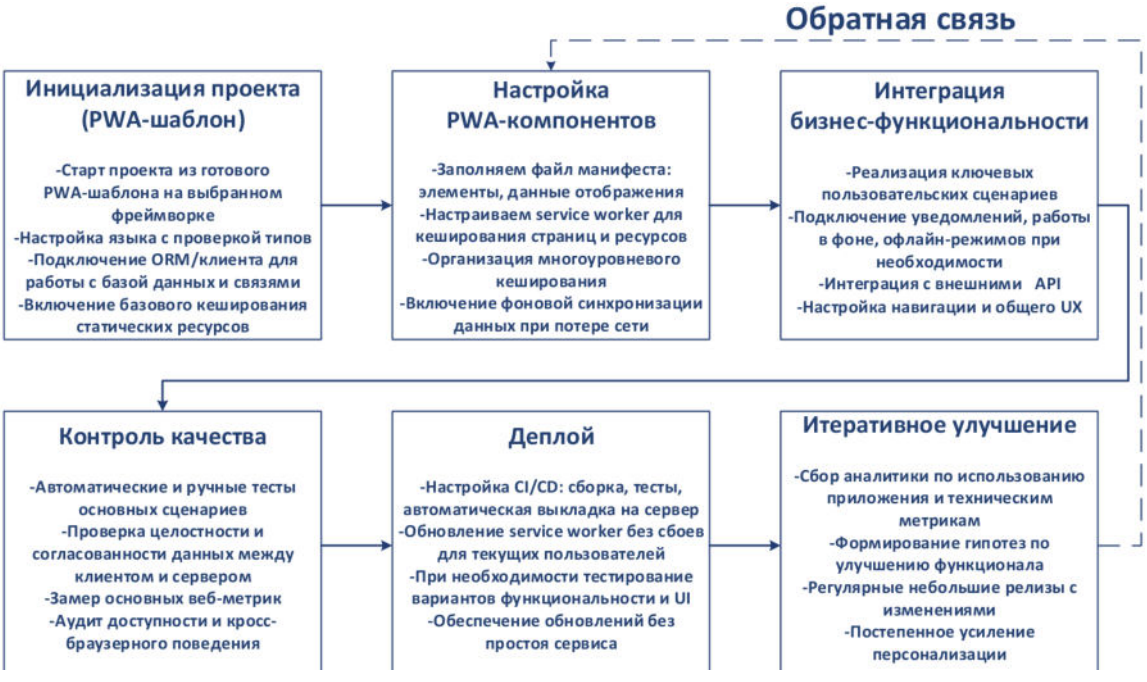


Рис. 3. Итеративный цикл разработки и выпуска PWA

Методология предусматривает создание нескольких базовых шаблонов. Для торговой сети шаблон может включать каталог, интернет-магазин, личный кабинет, программу лояльности и способы оплаты. Для сети сервисных центров применимы расписание специалистов, запись клиентов, уведомления, оплата услуг и история обращений. Для промышленной B2B-компании востребованы каталог продукции, запрос коммерческого предложения, интеграция с CRM и обмен документами. Заказчик получает конфигурируемую систему и выбирает функциональные модули в соответствии со своими процессами.

Представленная на рис. 4 последовательность отражает практическую реализацию модульной методологии разработки PWA. Создание проекта начинается с выбора базового шаблона и настройки компонентов PWA, после чего к системе подключаются необходимые заказчику функциональные модули.



Рис. 4. Этапы модульной разработки PWA

На следующих этапах интерфейс адаптируется под фирменный стиль предприятия, выполняются тестирование и проверка безопасности, а готовое решение развёртывается на сервере. Дальнейшее сопровождение включает мониторинг работы системы, исправление выявленных ошибок и централизованную публикацию обновлений. Такой подход обеспечивает повторное использование проверенных компонентов, сокращает сроки разработки и позволяет постепенно расширять функциональность без полной переработки сайта.

Заключение

Разработанная методология позволяет создавать и поэтапно развивать корпоративные сайты на основе PWA. По сравнению с классическим многостраничным сайтом PWA дополнительно поддерживает установку, автономные сценарии, фоновую синхронизацию и уведомления при наличии поддержки браузера. По сравнению с отдельной нативной разработкой для iOS и Android единая веб-кодовая база сокращает дублирование работ, упрощает сопровождение и позволяет распространять обновления через веб-сервер. В отличие от гибридного приложения, PWA не требует обязательной упаковки в установочный пакет и остается доступным по веб-адресу. При этом нативное или кроссплатформенное приложение предпочтительнее, если проекту необходимы максимальная производительность и глубокий доступ к аппаратным функциям устройства [4].

К преимуществам предложенного подхода относятся централизованное сопровождение, оперативное изменение дизайна по требованиям заказчика, повторное использование компонентов и единый процесс контроля качества. Проверенные шаблоны уменьшают объем повторного проектирования, разработки интерфейса и тестирования. Возможность подключать каталог, магазин, расписание, формы оплаты, уведомления и корпоративные интеграции по выбору заказчика сокращает сроки запуска и является конкурентным преимуществом методологии.

Используемые библиотеки требуют соблюдения лицензий. React и Next.js распространяются по лицензии MIT, которая допускает коммерческое использование при сохранении текста лицензии и уведомления об авторских правах. PM2 распространяется по GNU Affero General Public License , поэтому условия его применения и распространения необходимо оценивать отдельно. Лицензии остальных зависимостей, а также договоры на хостинг, CRM, платежные сервисы и внешние API проверяются перед внедрением. Следовательно, корректно говорить не об отсутствии лицензий, а об использовании компонентов с открытыми лицензиями и установленными условиями.

Практическая применимость технологии подтверждается публично описанными проектами. В B2B-сегменте опубликован пример PWA для Alibaba.com [6], а BMW Group сообщала об использовании PWA при обновлении сайта BMW.com [5]. Эти проекты показывают, что подход применим как к крупной торговой платформе, так и к корпоративному сайту промышленной компании. Основной результат работы состоит в формировании модульной методологии, которая сочетает быструю адаптацию дизайна и функций, централизованное сопровождение, повторное использование компонентов и постепенное развитие решения без полной переработки продукта.

Список литературы

1. Samsyudin I. Native Apps vs. Progressive Web Apps: A Comparative Analysis of User Experience and Development Costs / I. Samsyudin. – 2024. – DOI: 10.13140/RG.2.2.26383.80808.

2. Rangari M. Review of Benefits and Challenges of Progressive Web Apps / M. Rangari, T. S. Raghatate, Y. G. Pal // International Journal of Modern Science and Research Technology. – 2025. – Vol. 3, № 6. – P. 88–94. – DOI: 10.5281/zenodo.15605514.

3. Andersson V. A Comparison of User Experience in Progressive Web Apps and Cross-platform Framework Apps: Performance, Appearance and Functionality of a React Progressive Web App and a React Native App / V. Andersson, J. Seller Fredlund. – Stockholm: KTH Royal Institute of

Technology, 2024. – URL: https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1887938 (дата обращения: 31.08.2026).

4. Lingolu M. S. S. A Comprehensive Review of Progressive Web Apps: Bridging the Gap Between Web and Native Experiences / M. S. S. Lingolu, M. K. Dobbala // International Journal of Science and Research. – 2022. – Vol. 11, № 2. – P. 1326–1334. – DOI: 10.21275/SR24517172948.

5. Ванюшев, А. А. Методология и технология преподавания веб-технологий в профессиональном образовании / А. А. Ванюшев, О. С. Петров, Р. Р. Вафин // Вестник НЦБЖД. – 2025. – № 4 (66). – С. 20–26. – ISSN 2075-4957.

6. Сытник, А. С. Расширенное моделирование логических функций средствами Brain. js и их применение в обучении / А. С. Сытник, А. А. Ванюшев // Вестник НЦБЖД. – 2025. – № 4 (66). – С. 71–77. – ISSN 2075-4957.

УДК 330.342

БИЗНЕС-ИМПАКТ: КАК КОРПОРАЦИИ МЕНЯЮТ ТЕРРИТОРИЮ ПРИСУТСТВИЯ

Галяутдинова К.Р., аспирант;
ORCID: 0009-0005-1888-3125;
E-mail: kamillarenatovna29@gmail.com;
Зиганшина З.Р., к.э.н., доцент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: ZR_Ziganshina@mail.ru

BUSINESS IMPACT: HOW CORPORATIONS DRIVE CHANGE IN THEIR REGIONS OF OPERATION

Galyautdinova K.R., PhD student;
ORCID: 0009-0005-1888-3125;
E-mail: kamillarenatovna29@gmail.com;
Ziganshina Z.R., candidate of tconomic sciences, associate professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
E-mail: ZR_Ziganshina@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается роль крупных корпораций в преобразовании территорий своего присутствия с помощью инструментов креативной экономики. Актуальность исследования обусловлена возрастающим значением корпоративных инициатив в решении задач территориального развития, повышения качества городской среды, формирования человеческого капитала и укрепления конкурентоспособности регионов. Теоретической основой исследования являются концепции культурного и инновационного посредничества. В рамках этих теорий корпорации рассматриваются как субъекты, обеспечивающие взаимодействие между различными органами государственной власти, образовательными организациями, представителями креативных индустрий и местными сообществами. В результате проведенного исследования предложена авторская модель оценки влияния проектов корпоративного территориального развития на бизнес с помощью креативных индустрий. Доказано, что эффективность корпоративных инициатив определяется не столько объемом самих инвестиций или количеством реализованных мероприятий, сколько их способностью создавать долго-

срочные эффекты, связанные с развитием человеческого капитала, территориального бренда, предпринимательской активности и качеством жизни населения.

Ключевые слова: креативные индустрии, корпоративная социальная ответственность, развитие территорий, креативные кластеры, бизнес-импакт, культурное посредничество, импакт-инвестирование

Abstract

The article examines the role of large corporations in transforming the territories of their presence using the tools of the creative economy. The relevance of the research is due to the increasing importance of corporate initiatives in solving the tasks of territorial development, improving the quality of the urban environment, forming human capital and strengthening the competitiveness of regions. The theoretical basis of the research is the concepts of cultural and innovative mediation. In the framework of these theories, corporations are considered as entities providing interaction between various government agencies, educational organizations, representatives of creative industries and local communities. As a result of the research, the author's model for assessing the impact of corporate territorial development projects on business through creative industries is proposed. It has been proven that the effectiveness of corporate initiatives is determined not so much by the volume of investments themselves or the number of implemented measures, as by their ability to create long-term effects related to the development of human capital, territorial brand, entrepreneurial activity and the quality of life of the population.

Keywords: creative industries, corporate social responsibility, territorial development, creative clusters, business impact, cultural mediation, impact investment

В течение последних двух десятилетий наблюдается существенное изменение характера взаимодействия между крупными корпорациями и территориями их расположения. Прежняя модель, при которой компания воспринималась преимущественно в качестве источника налоговых поступлений и рабочих мест, постепенно замещается парадигмой более активного вовлечения бизнеса в процессы формирования локальной идентичности. Происходит это за счет того, что в ходе развития основной деятельности компании стремятся интегрироваться и в креативную экосистему: данные действия позволяют им усилить свой вклад в формирование социального капитала территории. В современных условиях указанную позицию можно объяснить тем, что применение нестандартных и инновационных подходов в предпринимательской деятельности нередко выступает фактором повышения социальной легитимности бизнеса, а также способствует выстраиванию устойчивых долгосрочных партнерских отношений.

Столь характерная смена восприятия бизнеса подчеркивается в трудах современных исследователей. В.Н. Курочкин отмечает, что актуальность ориентации постиндустриальной экономики на креативные индустрии объясняется их способностью генерировать рабочие места высокой квалификации, обеспечивать рост результативности сервисной деятельности, формировать устойчивые конкурентные позиции предприятий, а также улучшать качество клиентского сервиса [3, с. 69].

Целью данной статьи является выявление и систематизация механизмов преобразования корпорациями территорий присутствия посредством креативных индустрий, а также разработка модели оценки возможного бизнес-импакта подобных проектов. Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач: эмпирическое исследование существующих отечественных практик по трансформации территорий присутствия компаниями и разработка многоуровневой модели оценки такого воздействия бизнесом.

Импакт-инвестирование как инструмент поддержки территориальных и креативных инициатив

В условиях поиска новых механизмов финансирования проектов, ориентированных на достижение общественно значимых результатов, все большее внимание исследователей

и представителей бизнеса привлекает концепция импакт-инвестирования. Данный подход предполагает осуществление инвестиций с целью одновременного получения финансовой отдачи и достижения измеримого социального или экологического эффекта. В отличие от традиционной благотворительности, которая была особенно востребована в прошлом, импакт-инвестирование ориентировано на создание устойчивых моделей развития, способных обеспечивать долгосрочную экономическую и общественную ценность [2, с. 604].

Научная литература рассматривает импакт-инвестирование как один из наиболее перспективных инструментов финансирования проектов, находящихся на пересечении бизнеса и общественных интересов. Исследования показывают, что инвестиции, ориентированные на достижение социального эффекта, способны обеспечивать уровень доходности, сопоставимый с традиционными инвестиционными инструментами, что, в свою очередь, способствует росту интереса со стороны частного капитала [2, с. 606].

Привлекательность подобных проектов для частных инвесторов во многом обусловлена кратным эффектом со стороны самих креативных кластеров: их запуск способен стимулировать развитие ряда смежных бизнесов единовременно. Тем самым растет диверсификация инвестиционного портфеля и обеспечивается его устойчивость в случае, если один из проектов будет вынужден прекратить свою деятельность. В этих условиях механизмы импакт-инвестирования позволяют рассматривать вложения в креативные инициативы как некоторую форму стратегических инвестиций, обеспечивающих долгосрочные социально-экономические результаты. Доказательная база данных убеждений будет продемонстрирована ниже.

Российский опыт импакт-инвестирования в креативные индустрии

В Российской Федерации развитие территорий посредством механизмов креативных индустрий получило государственную поддержку в виде Концепции развития творческих (креативных) индустрий до 2030 года (Распоряжение Правительства РФ № 2613-р) и Федерального закона № 330-ФЗ «О развитии креативных (творческих) индустрий в Российской Федерации», принятом в августе 2024 г. [8, с. 887].

Для российской практики изначальная вовлеченность государства в развитие креативного сектора была связана с необходимостью поддержки национальной идентичности народов России. С принятием закона № 330-ФЗ подход к регулированию данной сферы претерпел некоторые изменения. В частности, закон закрепил концепцию, так называемого, «двойного результата», формируемого субъектами креативной деятельности. Согласно этой концепции, креативное предпринимательство способно одновременно обеспечивать как социальные, так и экономические результаты. Проекты в креативной сфере, оперирующие нематериальными активами и локальными культурными образами, демонстрируют возможность сочетать извлечение дохода с укреплением социальной среды территории. Последнее, в свою очередь, повышает ее привлекательность для жизни и работы.

Несмотря на предпринятые меры по стабилизации сектора и его внедрению в общую экономическую систему страны, в настоящий момент в России именно корпорации выступают основными инвесторами и организаторами территориальных изменений. В то время как в зарубежной практике существенная часть аналогичных проектов реализуется при активном участии муниципальных и региональных институтов развития. Во многом это обусловлено институциональными ограничениями, которые еще не успели адаптироваться к текущим экономическим условиям, а также низким уровнем осведомленности руководителей компаний об имеющихся мерах поддержки со стороны государства.

Косвенную поддержку этой позиции оказывают наблюдения ряда исследователей. По мнению В.В. Савиной, Н.Е. Тиханова, Д.В. Амеличевой и Е.А. Семеновой, распространение практик социального инвестирования сдерживается недостаточной адаптацией инструментов оценки социального эффекта, дефицитом профильных компетенций и ограниченным уровнем государственной поддержки [6, с. 260].

Следует подчеркнуть, что процесс активной институционализации сектора начался около 10-12 лет назад. В связи с чем, мы можем отметить, что некоторые структурные барьеры в отношении креативных индустрий объяснимы и в ближайшем будущем могут претерпеть сильные изменения. Тем не менее за указанный нами период времени успели сформироваться частные корпоративные инициативы, которые наглядно иллюстрируют системный подход к встраиванию культурных и креативных проектов в стратегии корпоративного и территориального развития. К числу таких программ относятся проекты социальных инвестиций «Родные города» компании ПАО «Газпром нефть», деятельность АНО «Агентство развития Норильска», реализуемая при поддержке компании ПАО «ГМК «Норильский никель», проекты ПАО «СИБУР Холдинг», а также инициативы ПАО «Татнефть» в Республике Татарстан. Ниже мы предлагаем более детально разобрать предложенные нами к рассмотрению программы.

В рамках проекта «Родные города» приоритетным направлением ПАО «Газпром нефть» выступает решение текущих социальных задач и создание условий для устойчивого развития местных сообществ [5]. Изначально целью разработки программы служило желание консолидации всех социальных проектов, имеющихся на тот момент у ПАО «Газпром нефть» на территориях ее присутствия. В дальнейшем охват проекта расширился и стал ориентирован как на реализацию собственных проектных инициатив компании, так и на широкую аудиторию. На данный момент «Родные города» способствовали воплощению таких инициатив, как Музыкальная мастерская Юрия Розума, спортивная школа «Шторм» Александра Шлеменко, фестиваль начинающих режиссеров игрового кино «Дух огня» и др.

Деятельность АНО «Агентство развития Норильска» в сравнении с ранее рассмотренным вариантом представляет собой пример механизма диверсификации экономики конкретного региона – г. Норильск. За 5 лет в рамках инициативы были реализованы 160 проектов. В 2024 г. деятельность Агентства была сосредоточена на четырех стратегических направлениях: поддержка и развитие предпринимательской среды, трансформация городского пространства, продвижение туристического потенциала, а также реализация социокультурных и образовательных инициатив [1].

В сфере развития бизнеса основное внимание уделялось образовательным форматам и вовлечению предпринимательского сообщества в проектную деятельность. Существенным событием стал «Норильский бизнес-фест», объединивший 353 предпринимателя и 13 приглашенных экспертов [1, с. 2-7].

В направлении трансформации городской среды реализовывались инициативы, предполагающие активное участие жителей в формировании городской повестки в рамках программы «Жители меняют город». Проекты благоустройства и ревитализации общественных пространств позволили вовлечь горожан в выбор приоритетных территорий развития. Отдельные объекты были преобразованы в новые общественно-культурные пространства. Среди них благоустройство территории озера «Городское» и общественно-культурный центр «Башня».

Туристическое направление развивалось через интеграцию г. Норильска в общероссийские маршруты промышленного туризма, проведение экспедиционных и спортивных мероприятий, а также формирование событий, повышающих узнаваемость территории за ее пределами. В их число входит проведение таких крупных спортивных событий, как X-WATERS Yenisei, соревнование по плаванию в открытой воде, и Norilsk Trail, трейловый забег по пересеченной местности.

Социокультурная и образовательная деятельность проекта охватила свыше 200 мероприятий с общим числом участников более 11,5 тыс. человек по данным отчетов. Реализованы образовательные программы «Римская мозаика», «Художник-аниматор 3D», «Предметный дизайн» Академии креативных индустрий [1, с. 8-33].

Аналогичные подходы к трансформации территорий присутствия реализует компания ПАО «СИБУР Холдинг». Как и в предыдущем примере, инвестиции в проекты креативного

сектора рассматриваются корпорацией как инструмент повышения качества жизни населения и формирования устойчивой привлекательности территории. Развитие креативной и социальной инфраструктуры в этом контексте выполняет функцию удержания человеческого капитала, в частности – молодежи, для которой в последние годы приоритетным вариантом планирования своего будущего стал выбор центральных округов России для проживания.

Так, основным механизмом деятельности ПАО «СИБУР Холдинг» выступает программа социальных инвестиций «Формула хороших дел». Согласно отчетности компании, в 2025 году объем ее финансирования составил 8 803,9 млн рублей. Было реализовано 158 грантов, при которых совокупное число благополучателей превысило 120 тыс. человек [7, с. 35]. Как и в случае инициатив других компаний, в городах присутствия проводятся масштабные культурные и просветительские мероприятия, включая фестивали «Знаковое место», «Камский книжный», Летний книжный фестиваль, «ГайдайФест», гастрономический фестиваль «Свобода вкуса», а также проект «Книги в городе» [7, с. 35].

Однако в рамках нашего анализа особое значение в системе корпоративного участия компании имеет г. Тобольск, где ПАО «СИБУР Холдинг» реализует наиболее комплексную модель территориального развития. После завершения программы «Тобольск-2020» продолжается долгосрочная инициатива «Тобольск настоящий», рассчитанный на проведение ряда специализированных мероприятий вплоть до 2030 года. Для осуществления программы был сформирован портфель из 60 инфраструктурных проектов. Среди ключевых результатов фигурируют: создание образовательного кластера, спортивных объектов (бассейн «Чемпион», Центр гимнастики и скейтпарк «Максимум»), а также благоустройство общественных пространств (Аптекарский и Александровский сады). В настоящее время ведется работа над 30 проектами, охватывающими культурную, образовательную и инфраструктурную сферы города [7, с. 35].

Результаты данных инициатив отражаются в динамике качества городской среды: по итогам 2024 года г. Тобольск занял 4-е место в категории «Средние города» в рейтинге Министерства Строительства России. В рамках программы «Формула хороших дел» ежегодно реализуется более 100 социальных, культурных и образовательных проектов, что свидетельствует о переходе от разрозненных форм корпоративной социальной ответственности к уже сформировавшейся модели территориального развития [7, с. 36].

Среди исследованных проектов показательный результат демонстрирует и опыт Республики Татарстан, связанный с деятельностью ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. В последние годы компания последовательно переходит от реализации отдельных социальных инициатив к формированию долгосрочной модели территориального развития. По итогам 2024 г. благодаря деятельности компании восемь городов присутствия достигли статуса территорий с благоприятной городской средой. Среднее значение соответствующего индекса выросло с 193 баллов в 2020 году до 241 балла в 2024 г. [4, с. 173].

ПАО «Татнефть» уделяет существенное внимание развитию общественных пространств и формированию нового визуального кода городов, включая создание арт-объектов и культурных точек притяжения [4, с. 200]. Среди них – Фестиваль «Каракуз», уличный театр «Легкие крылья» и социальный театр «Аулак», которые поспособствовали укреплению локальной идентичности территории [4, с. 199]. Одновременно с этим реализуются проекты в сфере образования и подготовки кадров, включая развитие Высшей школы нефти, профориентационные программы для школьников и механизмы ранней профессиональной подготовки [4, с. 193].

Отдельное место в стратегии компании занимает диверсификация экономики через развитие туристического потенциала территорий. Реализация проектов «Поташные поляны» и «Новая земля», а также создание системы подготовки кадров для индустрии гостеприимства свидетельствуют о стремлении сформировать дополнительные точки экономического роста за пределами нефтегазовой специализации региона [4, с. 174].

Проведенный анализ позволяет заключить, что, независимо от организационных моделей и масштабов реализации упомянутых проектов, российские практики демонстрируют общую тенденцию перехода от поддержки отдельных культурных инициатив к формированию полноценных территориальных экосистем развития. В этих условиях обращение компаний к импакт-инвестированию является целенаправленной деятельностью, в которой инвестиции в креативные индустрии выступают исключительно инструментом развития городской или региональной среды. Тем самым мы исключаем предположение о том, что рассмотренные нами организации смещают вектор со своей основной деятельности.

Во всех изученных нами примерах цель внедрения креативных проектов в зону корпоративной ответственности состоит в удержании человеческого капитала, расширении локального предпринимательства и продвижении территориального брендинга. За счет импакт-инвестирования корпорации начинают выполнять функции, характерные как для культурных, так и для инновационных посредников: помимо обеспечения финансирования проектов, они осуществляют отбор инициатив через грантовые конкурсы, координацию взаимодействия между участниками, интеграцию различных типов знаний и создание условий для возникновения новых форм экономической и культурной деятельности как в личных, так и в общественных интересах. В результате этих действий формируются инновационные финансовые схемы, стимулирующие привлечение капитала в культурные и творческие проекты.

Структурная модель оценки импакт-инвестирования в территориальное развитие

На сегодняшний день существует свыше 100 подходов к оценке импакт-инвестирования, позволяющих компаниям целевым образом направлять капитал на решение приоритетных социально-экологических задач. Многообразие подходов объединяет требование к формированию доказательной базы, на которой будут строиться вычисления. В частности – наличие качественных и количественных показателей, свидетельствующих о результате проделанных действий. Для удовлетворения этих целей компании зачастую собирают обратную связь от основных бенефициаров тех или иных проектов, изучают долгосрочные/краткосрочные и прогнозируемые/непредвиденные эффекты от реализованных мероприятий. Тем не менее инвестирование в креативные программы порой сопряженно с необходимостью учитывать специфику сферы, где итогом работы может предстать создание нематериального актива. В связи с чем, заимствование методов оценки, разработанных для других областей возможно, но не всегда приводит к достоверным расчетам. Это побуждает организации разрабатывать собственные методики и адаптировать их к индивидуальным целям и перспективам инвестиционного портфеля.

Исходя из проведенного ранее эмпирического анализа существующих практик реализации территориального развития, в рамках данной статьи нами предпринята попытка формирования того метода оценки импакт-инвестирования, который бы отвечал помимо прочего двум ключевым запросам: 1) поддержки креативных индустрий и творческого предпринимательства; 2) содействию территориальному развитию. На основе идей Дж. Хауэллса, М. де Сильвы, С. Стокли-Пателя и Дж. Свордса предлагается модель, включающая пять взаимосвязанных блоков: 1) субъекты инвестирования; 2) объекты инвестирования; 3) механизмы трансформации; 4) уровни влияния; 5) оценка и измерение. Схематично модель выглядит следующим образом (рис. 1).

В основе разработанной модели лежит концепция, которая учитывает ряд вопросов: кто инвестирует, во что инвестирует, через какие механизмы осуществляется инвестирование, какой появляется эффект от инвестирования и как он измеряется. Мы обратились к данному способу построения модели, поскольку посчитали его наиболее полно отражающим происходящие в импакт-инвестировании процессы.

Субъекты и объекты инвестирования определяют архитектуру модели, т.е. участников рассматриваемого процесса. Субъектная сторона выявляет того, кто направляет ресурсы. Она может быть представлена корпорациями, частными инвесторами или государственными

фондами. В данном случае идентификация позволяет понять какого рода эффект преследует субъект от инвестирования. Корпорация может быть заинтересована в укрепление своих позиций, доступе к новым сегментам рынка и получение лицензий на определенной вид деятельности. Частный инвестор – преследовать цель диверсификации инвестиционного портфеля. Целью государства служить ожидание макроэкономического эффекта посредством повышения роста занятости и налоговых поступлений в регионе. Внедрение объектного блока обусловлено необходимостью обозначить участие проектов креативных индустрий, не поддающихся прямой капитализации и требующих иных подходов к оценке стоимости и потенциала. Из рассмотренных нами примеров, такими объектами могут выступать все нематериальные ценности: культурный код, идентичность региона и человеческий капитал.



Рис. 1. Структурная модель территориального развития
на основе импакт-инвестирования

Механизмы трансформации направлены на отслеживание действий, по результату которых вложения субъектов начинают оказывать экономический, социально-культурный и территориальный эффект. Под «действиями» здесь понимаются каналы воздействия и цепочка посредников. Каналы воздействия – это создание креативных пространств, образовательных программ, поддержка локальной инициативы. Цепочкой посредников выступают агентства развития, некоммерческие организации, креативные сообщества, которые выполняют функцию преобразования ресурсов в социально значимые результаты.

Уровни влияния раскрывают содержательную структуру оказываемым проектом эффекта. Как видно из рис. 1, он разделен на три блока. Это обусловлено разной временной динамикой проявления эффектов. Экономический уровень зачастую фиксируется на ранних этапах реализации проекта, социально-культурный уровень отслеживается через 2-3 года. Территориальный уровень мы связываем с формированием региональной идентичности или бренда. Его результаты практически не поддаются аналитике в короткие периоды. В связи с чем сбор данных по оказываемому влиянию может занимать от 5 и более лет. Учитывая рамки нашего исследования, отсутствие временной асимметрии в модели способно привести к несбалансированной оценке результатов, так как на ранних этапах запуска проекта эффект покажется заниженным, на поздних – трудно отслеживаемым.

Оценка и измерение является завершающим блоком предлагаемой модели и нацелена на оценку социальной отдачи от инвестируемой программы. В нашем представлении оценка проектов должна происходить итеративно, т.е. постоянно отслеживаться и при определенных случаях корректироваться. В качестве метода измерения можно обратиться к существующей методологии: Оценке социального возврата на инвестиции (прим. – SROI, Social Return on Investment), Теории изменений (прим. – Theory of Change), Оценке и управлению воздействием (прим. – IMP, Impact Management Project). Методы измерения необходимо подбирать внимательно, поскольку специфика реализации культурных и креативных проектов требует присутствия как количественных, так и качественных показателей для достоверности исследования.

Таким образом, развитие корпоративных проектов в сфере креативных индустрий со стороны корпораций свидетельствует о формировании новой модели взаимодействия бизнеса и территории ее присутствия. В рамках данной модели корпорации могут выступать инвесторами и посредниками одновременно, координировать взаимодействие участников локальной экосистемы и обеспечивать циркуляцию ресурсов, знаний и компетенций между ними. Эффект такого подхода отражается не столько в измеримых экономических показателях, сколько в глубинных структурных изменениях самой территории, которая впоследствии может стать самостоятельным ресурсом развития.

Список литературы

1. Агентство развития Норильска. Итоговый отчет АНО «АРН» за 2024 год. – [Электронный ресурс] – https://arnorilsk.ru/wp-content/uploads/2025/07/itogovyj-otchet-ano-arn-2024.pdf (дата обращения: 05.06.2026).

2. Вершинин Ю.Б, Вершинина Е.Л., Волкова А.Ю., Дементьев И.В. Современные вопросы финансирования социального предпринимательства // Московский экономический журнал. 2020. №3. – [Электронный ресурс] – https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-voprosy-finansirovaniya-sotsialnogo-predprinimatelstva (дата обращения: 13.06.2026).

3. Курочкин В.Н. Креативная индустрия в экономике России: реальность и потенциал в сервисной деятельности // Сервис в России и за рубежом. – 2023. – Т. 17. №5. С. 69–77. DOI: 10.5281/zenodo.10425637

4. ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. Интегрированный годовой отчет за 2024 год. – [Электронный ресурс] – https://www.tatneft.ru/uploads/publications/683944dd16e0e770100484.pdf (дата обращения: 11.06.2026).

5. Родные города: официальный сайт программы социальных инвестиций «Газпром нефть». – [Электронный ресурс] – https://www.rodnyegoroda.ru (дата обращения: 11.06.2026).

6. Савина В. В., Тиханов Н. Е., Амеличева Д. В., Семенова Е. А. Устойчивая трансформация инвестирования: социальные инвестиции как более эффективный формат реализации ответственности бизнеса // Вестник Академии знаний. – 2022. – №2 (49). – [Электронный ресурс] – https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivaya-transformatsiya-investirovaniya-sotsialnye-investitsii-kak-bolee-effektivnyy-format-realizatsii-otvetstvennosti (дата обращения: 06.06.2026).

7. СИБУР. Обзор ключевых результатов деятельности СИБУРа за 2025 год. – [Электронный ресурс] – https://www.sibur.ru/upload/iblock/a00/0g03ln2zphvv338ifarbieyzgsvwi6ss.pdf (дата обращения: 14.06.2026).

8. Трохирова У.В. Практики поддержки креативных индустрий на региональном уровне: проблемы реализации и перспективы развития // КЭ. 2025. №4. – [Электронный ресурс] – https://cyberleninka.ru/article/n/praktiki-podderzhki-kreativnyh-industriy-na-regionalnom-urovne-problemy-realizatsii-i-perspektivy-razvitiya (дата обращения: 05.06.2026).

9. Хезмондалш, Д. Культурные индустрии / пер. с англ. И. Кушнаревой; под науч. ред. А. Михалевой; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – 2-е изд. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2018. – 456 с. – (Исследования культуры). – 1000 экз. – ISBN 978-5-7598-1530-3 (в пер.) –ISBN 978-5-7598-1682-9 (e-book).

10. De Silva M. Innovation intermediaries and collaboration: Knowledge–based practices and internal value creation / M. De Silva, J. Howells, M. Meyer // Research Policy. – 2018. – Vol. 47, Iss. 1. – P. 70–87. – DOI: 10.1016/j.respol.2017.09.011. – [Электронный ресурс] – https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733317301610 (дата обращения: 10.06.2026).

11. Howells J. (2006). Intermediation and the role of intermediaries in innovation. // Research Policy. Vol. 35. № 5. P. 715–728.

12. Stockley-Patel, S., & Swords, J. (2025). Cultural and innovation intermediation in the cultural-creative industries. Creative Industries Journal, 18(2), 338–353. – [Электронный ресурс] – https://doi.org/10.1080/17510694.2023.2218635 (дата обращения: 04.06.2026).

УДК 004.8:658.8:69

ПРОЦЕССНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВНЕДРЕНИЯ ГОЛОСОВОГО ИИ-АССИСТЕНТА И РЕЧЕВОЙ АНАЛИТИКИ В ПРОДАЖИ МАЛОЭТАЖНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Голяков А.А., руководитель отдела маркетинга строительной компании «Амана», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-3414-4966;
E-mail: said.golyakov@sk-amana.ru

PROCESS AND METHODOLOGICAL MODEL FOR IMPLEMENTING A VOICE AI ASSISTANT AND SPEECH ANALYTICS IN LOW-RISE HOUSING SALES

Golyakov A.A., Head of Marketing Department, Amana Construction Company, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-3414-4966;
E-mail: said.golyakov@sk-amana.ru

Аннотация

В статье рассматривается процессно-методическая модель внедрения голосового ассистента на основе искусственного интеллекта и речевой аналитики в продажи малоэтажного жилищного строительства. Актуальность исследования обусловлена тем, что в сфере сложных и дорогостоящих услуг цифровизация часто ограничивается использованием рекламных каналов и CRM-систем, однако не решает ключевую проблему управляемости первичной коммуникации, качества квалификации обращений и прозрачности работы отдела продаж. В малоэтажном строительстве решение клиента связано с высокой стоимостью, длительным циклом сделки, необходимостью доверия к подрядчику, юридическими условиями, техническими характеристиками будущего объекта и качеством консультационного сопровождения. Цель исследования заключается в разработке модели, позволяющей интегрировать голосового ИИ-ассистента, речевую аналитику и CRM-систему в единый контур управления продажами без полной замены человека. Методологическую основу составляют процессный подход, моделирование клиентского пути, кейс-метод, сравнительный анализ состояния бизнес-процесса до и после внедрения цифровых инструментов, а также экспертная оценка показателей эффективности. Научная новизна исследования состоит в разработке пятиуровневой архитектуры внедрения ИИ в продажи сложных строительных услуг, включающей слой данных, коммуникационный слой, слой ИИ-квалификации, CRM-слой и слой управленческой аналитики. Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенной модели в строительных, медицинских, образовательных, консалтинговых и иных сервисных компаниях, где важны высокая стоимость сделки, длительный цикл принятия решения,

доверие клиента и качество первичной коммуникации. В статье предложена система показателей эффективности внедрения, рассмотрены риски применения ИИ-ассистента и сформулированы практические рекомендации по его поэтапной интеграции в бизнес-процесс. Особое внимание уделено сохранению участия человека в ключевых точках принятия решений и снижению рисков автоматизации клиентской коммуникации и контроля качества. Сделан вывод о том, что ИИ в сложных продажах должен усиливать менеджера и управленческий контроль, а не подменять экспертную работу человека.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ИИ-ассистент, речевая аналитика, CRM, продажи, малоэтажное строительство, цифровая трансформация, квалификация лидов, клиентский путь, управление продажами

Abstract

The article examines a process and methodological model for implementing a voice assistant based on artificial intelligence and speech analytics in low-rise housing sales. The relevance of the study is determined by the fact that in complex and high-value service markets digitalization is often limited to advertising channels and customer relationship management systems, while the key problem of managing initial customer communication, lead qualification quality and sales department transparency remains unresolved. In low-rise housing construction, the customer's decision is associated with a high transaction value, a long sales cycle, trust in the contractor, legal conditions, technical characteristics of the future building and the quality of consulting support. The purpose of the study is to develop a model that allows integrating a voice AI assistant, speech analytics and a CRM system into a unified sales management loop without fully replacing human participation. The methodological basis includes a process approach, customer journey modeling, case study method, comparative analysis of the business process before and after the implementation of digital tools, and expert assessment of performance indicators. The scientific novelty of the study lies in the development of a five-level architecture for implementing AI in complex construction service sales, including the data layer, communication layer, AI qualification layer, CRM layer and management analytics layer. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the proposed model in construction, healthcare, education, consulting and other service companies where high transaction value, long decision-making cycles, customer trust and quality of initial communication are critical. The article proposes performance indicators, examines implementation risks and formulates recommendations for gradual integration into business processes. The conclusion is that AI in complex sales should strengthen the manager and the management control system rather than replace human expert work.

Keywords: artificial intelligence, AI assistant, speech analytics, CRM, sales, low-rise construction, digital transformation, lead qualification, customer journey, sales management

Введение

Цифровая трансформация бизнеса постепенно переходит от внедрения отдельных программных решений к построению комплексных управленческих систем, в которых данные, коммуникации, искусственный интеллект и управленческие решения связаны в единый процесс. Искусственный интеллект рассматривается как одно из стратегических направлений технологического развития, влияющее на эффективность отраслей, качество управления и конкурентоспособность организаций [1].

Малоэтажное жилищное строительство относится к сфере сложных услуг. Клиент принимает решение о строительстве дома после консультаций, расчетов, сравнения подрядчиков и оценки юридических условий. Для него важны не только цена и внешний вид будущего дома, но и технология строительства, гарантийные обязательства, сроки, прозрачность сметы, условия оплаты, инженерные коммуникации и качество сопровождения.

Первичная коммуникация становится критически важным этапом воронки продаж. Руководитель отдела продаж часто видит только итоговые статусы в CRM: «новый лид», «не

дозвонились», «отказ», «назначена встреча». Однако за этими статусами остается скрытым содержание разговора: какие вопросы задавал клиент, были ли выявлены потребности, обработаны ли возражения и корректно ли заполнена карточка клиента.

Исследования показывают, что ИИ может усиливать аналитические и коммуникационные функции бизнеса, если он встроен в процесс принятия решений, а не используется как изолированный технологический инструмент [5]. При этом максимальный эффект достигается тогда, когда технология применяется для решения конкретной бизнес-задачи [6].

Цель исследования – разработать процессно-методическую модель внедрения голосового ИИ-ассистента и речевой аналитики в продажи малоэтажного жилищного строительства. Объект исследования – процесс продаж в строительной компании. Предмет исследования – модель интеграции голосового ИИ-ассистента, речевой аналитики и CRM-системы в обработку клиентских обращений. Научная новизна заключается в рассмотрении ИИ-ассистента как элемента цифрового контура «клиент – ИИ – менеджер – CRM – руководитель».

Методика исследования

Методологическую основу исследования составляют процессный подход, кейс-метод, моделирование клиентского пути, сравнительный анализ и экспертная оценка. Процессный подход позволяет рассматривать продажи не как набор отдельных действий менеджера, а как последовательность связанных этапов: получение обращения, первичный контакт, выявление потребности, квалификация клиента, фиксация данных в CRM, консультация, встреча, коммерческое предложение и договор.

Кейс-метод используется для анализа специфики внедрения ИИ-инструментов в сфере малоэтажного строительства. Данный подход позволяет исследовать управленческую ситуацию в реальном бизнес-контексте, где важны не только количественные показатели, но и организационная логика процесса [7].

Моделирование клиентского пути применяется для определения точек, где ИИ-ассистент может создавать ценность без ухудшения клиентского опыта: первичный контакт, уточнение потребности, определение наличия участка, выявление бюджета, фиксация интереса к рассрочке, запись на консультацию, передача данных менеджеру и последующая аналитика разговора.

Исследование сравнивает два состояния бизнес-процесса: традиционную модель, где первичная коммуникация зависит от менеджера, и цифровую модель, где ИИ-ассистент выполняет первичный контакт, задает вопросы по сценарию, фиксирует потребность, формирует резюме и передает данные в CRM. Принципы модели согласуются с подходами к управлению рисками ИИ, где важны доверие, прозрачность, управляемость и контроль со стороны организации [2, 3, 4].

1. Специфика продаж малоэтажного строительства

Малоэтажное жилищное строительство относится к категории сложных продаж. Клиент покупает не простой товар, а будущий объект недвижимости, связанный с финансовыми, техническими, юридическими и эмоциональными рисками. Для принятия решения ему нужны ответы на вопросы о стоимости, сроках, технологии, материалах, фундаменте, инженерных коммуникациях, проектировании, гарантии, оплате и сопровождении после сдачи объекта.

В строительстве цикл сделки может занимать недели или месяцы. За это время клиент сравнивает компании, изучает отзывы, оценивает сметы, задает повторные вопросы и проверяет надежность подрядчика. Поэтому первое обращение является не формальным контактом, а началом доверительных отношений между клиентом и компанией.

В традиционной модели продаж возникают организационные, информационные, коммерческие и управленческие проблемы. К ним относятся отсутствие единого стандарта первичного контакта, неполное заполнение CRM, отсутствие структурированного резюме разговора, расход рекламного бюджета без контроля качества обращений, потеря целевых клиентов

из-за поздней реакции и принятие решений по итоговым цифрам, а не по содержанию коммуникаций.

Следовательно, цифровизация продаж в строительной компании должна быть направлена не только на привлечение заявок, но и на повышение качества их обработки. Без этого рост рекламного бюджета может увеличить количество обращений, но не привести к сопоставимому росту договоров.

2. Роль ИИ-ассистента в клиентском пути

Голосовой ИИ-ассистент может выполнять пять функций в клиентском пути. Первая функция – оперативный первичный контакт, поскольку клиент может оставить заявку сразу в нескольких компаниях. Вторая – стандартизированное выявление потребности: наличие участка, желаемая площадь дома, ориентировочный бюджет, сроки строительства, интерес к рассрочке и готовность к встрече.

Третья функция – предварительная квалификация. Не каждое обращение является целевым: часть клиентов изучает рынок, часть не имеет бюджета, часть интересуется только участком, часть уже выбирает подрядчика. Задача ИИ – корректно определить тип обращения, а не имитировать полноценную экспертную продажу.

Четвертая функция – формирование резюме диалога для менеджера: что хочет клиент, какие параметры дома интересуют, есть ли участок, какой бюджет, какие возражения и какой следующий шаг согласован. Пятая функция – аналитическая: на основе диалогов компания может выявлять повторяющиеся вопросы, частые возражения и слабые места рекламных предложений. Это соответствует пониманию цифровой трансформации, при котором данные становятся основой управленческих решений [8].

3. Пятиуровневая архитектура внедрения

Предлагаемая модель включает пять взаимосвязанных уровней. Первый уровень – слой данных. На этом уровне формируется единое пространство входящих обращений: сайт, формы обратной связи, телефонные звонки, мессенджеры, рекламные кампании, партнерские каналы, офлайн-мероприятия и повторные обращения клиентов. Ключевая задача – корректно фиксировать номер телефона, источник, дату обращения, рекламную метку, статус, признак дубля и историю взаимодействия.

Второй уровень – коммуникационный слой, на котором работает голосовой ИИ-ассистент. Его задача – провести первичный диалог с клиентом по утвержденной логике. Сценарий должен учитывать разные варианты интереса: строительство дома, подбор проекта, покупка участка, формат «участок плюс дом», рассрочка, расчет стоимости и запись на встречу.

Третий уровень – слой ИИ-квалификации. После завершения диалога ИИ-ассистент классифицирует обращение: целевой лид, потенциально целевой лид, информационный запрос, нецелевое обращение, повторный клиент, партнерский контакт или клиент, требующий срочной передачи менеджеру.

Таблица 1

Пятиуровневая модель внедрения ИИ-ассистента

Уровень модели	Основная функция	Управленческий результат
Слой данных	Сбор и нормализация обращений	Единая база лидов и снижение дублей
Коммуникационный слой	Первичный диалог с клиентом	Быстрая обработка обращений
Слой ИИ-квалификации	Определение типа клиента	Повышение качества передачи лида
CRM-слой	Фиксация данных и задач	Прозрачная воронка продаж
Слой аналитики	Контроль качества и решений	Управляемость отдела продаж

Четвертый уровень – CRM-слой. Данные автоматически передаются в систему управления взаимоотношениями с клиентами: создается или обновляется карточка, добавляются теги, фиксируется источник, прикрепляется запись звонка, создается задача менеджеру и указывается срок следующего действия. Пятый уровень – слой управленческой аналитики, позволяющий видеть качество обращений, частоту возражений, соблюдение регламентов и причины потери клиентов.

4. Система показателей эффективности

Для оценки внедрения ИИ-ассистента недостаточно считать количество звонков. Большое число автоматических контактов не означает, что продажи стали эффективнее. Необходима система показателей, объединяющая операционные, коммерческие, качественные и риск-метрики.

К операционным показателям относятся скорость первого контакта, количество обработанных обращений, доля дозвонов, доля повторных номеров, количество автоматически созданных карточек CRM и доля карточек с полным резюме диалога. К коммерческим показателям относятся доля целевых лидов, стоимость целевого лида, конверсия из обращения в консультацию, конверсия во встречу, конверсия в коммерческое предложение и конверсия в договор.

К качественным показателям относятся полнота выявления потребности, корректность ответов ИИ-ассистента, точность определения категории клиента, наличие согласованного следующего шага и корректность передачи клиента живому менеджеру. К риск-показателям относятся доля некорректных ответов, количество жалоб, случаи неверной квалификации, ошибки передачи данных в CRM и нарушения регламента обработки персональных данных.

Таблица 2

Показатели оценки эффективности ИИ-ассистента

Группа показателей	Пример показателя	Что показывает
Операционные	Скорость первого контакта	Скорость реакции на обращение
Коммерческие	Конверсия во встречу	Движение клиента по воронке
Качественные	Полнота резюме диалога	Полезность данных для менеджера
Риск-показатели	Доля ошибок ИИ	Безопасность масштабирования
Управленческие	Соблюдение регламента	Прозрачность отдела продаж

5. Речевая аналитика и участие человека

Речевая аналитика дополняет ИИ-ассистента и позволяет анализировать содержание коммуникаций. Если ИИ-ассистент отвечает за первичную обработку и квалификацию, то речевая аналитика отвечает за контроль качества, выявление закономерностей и обучение отдела продаж.

В строительной компании речевая аналитика может фиксировать смысловые категории: интерес к строительству дома, интерес к земельному участку, наличие участка, бюджет клиента, сроки строительства, запрос на рассрочку, возражение по цене, сомнение в надежности подрядчика, вопрос о гарантии, запрос на смету, готовность к встрече и причина отказа.

Эти данные позволяют руководителю видеть реальную картину спроса. Если клиенты часто спрашивают об условиях оплаты, но менеджеры объясняют их по-разному, необходимо доработать скрипт, презентационные материалы и обучение. Если клиенты сомневаются в гарантиях, компания должна усилить доказательную базу: этапы строительства, технический надзор, договорные условия и порядок сопровождения после сдачи объекта.

В сложных продажах недопустимо строить модель, в которой ИИ полностью заменяет человека. ИИ может выполнять типовые действия быстрее и стабильнее, но не должен самостоятельно принимать решения по индивидуальной смете, юридическим условиям, нестандартным вопросам или финальным договоренностям. Поэтому человек остается в контрольных точках процесса. Такой подход соответствует принципам ответственного использования ИИ, управляемости и ориентации на интересы человека [4, 9].

6. Риски и практические рекомендации

Внедрение ИИ-ассистента несет технологические, управленческие, репутационные, правовые и кадровые риски. Технологический риск связан с неверным пониманием клиента, ошибочной классификацией обращения или неполным ответом. Управленческий риск возникает, если компания внедряет ИИ без изменения бизнес-процесса: автоматизация в таком случае не устраняет хаос, а ускоряет его.

Репутационный риск проявляется, когда клиент воспринимает общение с ИИ как искусственное, навязчивое или бесполезное. Правовой риск связан с обработкой персональных данных, записью звонков и хранением информации. Кадровый риск возникает, когда менеджеры воспринимают ИИ как угрозу, а не как инструмент, снимающий рутину и повышающий качество подготовки клиента.

Для минимизации рисков внедрение целесообразно проводить поэтапно. Первый этап – аудит текущего процесса продаж: источники лидов, воронка, скорость обработки, качество CRM, типовые причины отказов. Второй этап – подготовка базы знаний: сведения о компании, услугах, технологиях, сроках, гарантиях, оплате, вопросах клиентов и правилах передачи обращения менеджеру.

Третий этап – разработка сценария ИИ-ассистента. Сценарий должен быть не агрессивным продающим скриптом, а логикой корректной квалификации клиента. Четвертый этап – интеграция с CRM, без которой ИИ не становится частью управления. Пятый этап – пилотное тестирование на ограниченной части обращений. Шестой этап – масштабирование после корректировки сценариев и базы знаний. Седьмой этап – постоянная оптимизация на основе данных CRM и речевой аналитики.

Обсуждение результатов

Предложенная модель показывает, что ИИ в продажах сложных услуг должен рассматриваться как часть управленческой архитектуры, а не как отдельный инструмент автоматизации. Внедрение голосового ИИ-ассистента эффективно только при наличии CRM-интеграции, понятных регламентов, базы знаний, речевой аналитики и участия человека в критически важных точках процесса.

Для малоэтажного строительства это особенно важно. Клиент выбирает не только цену, но и доверие. Поэтому ИИ должен помогать компании быстрее и точнее обрабатывать обращения, но не разрушать ощущение персонального отношения. Сильная модель внедрения соединяет скорость технологии и экспертность менеджера.

Ключевое преимущество ИИ-ассистента состоит не только в сокращении ручного труда. Более важный эффект – повышение прозрачности. Руководитель получает возможность анализировать структурированные данные: кто обращается, с какими вопросами, какие возражения возникают, какие рекламные источники дают более качественных клиентов и какие этапы воронки требуют улучшения. Экономический потенциал генеративного ИИ связан именно с повышением производительности интеллектуального и коммуникационного труда [10].

Ограничения исследования

Настоящая работа имеет методический и прикладной характер. Она описывает модель внедрения и систему показателей, но для полноценного эмпирического подтверждения необходима апробация на фактических данных CRM до и после внедрения ИИ-ассистента.

В дальнейшем целесообразно провести количественное исследование, включающее сравнение скорости первого контакта, доли целевых лидов, конверсии во встречу, стоимости встречи, полноты заполнения CRM и динамики заключенных договоров.

Также отдельного исследования требует влияние ИИ-коммуникации на доверие клиента. В сложных продажах чрезмерная автоматизация может снижать качество клиентского опыта, если компания не обеспечивает быстрый переход к живому специалисту.

Выводы

В статье разработана процессно-методическая модель внедрения голосового ИИ-ассистента и речевой аналитики в продажи малоэтажного жилищного строительства. Основной вывод состоит в том, что ИИ-ассистент в сложных продажах не должен рассматриваться как полная замена менеджера. Его рациональная роль – первичная квалификация обращений, стандартизация коммуникации, фиксация данных, подготовка резюме для менеджера, контроль качества и формирование аналитической базы для управленческих решений.

Предложенная пятиуровневая архитектура включает слой данных, коммуникационный слой, слой ИИ-квалификации, CRM-слой и слой управленческой аналитики. Такая структура позволяет перевести обработку обращений из ручного и частично непрозрачного процесса в управляемую цифровую систему.

Практическая значимость модели заключается в том, что она может быть адаптирована не только для строительных компаний, но и для других сфер сложных услуг: медицины, образования, консалтинга, девелопмента, финансовых сервисов и B2B-продаж. Общим условием применимости является наличие длительного цикла сделки, высокой стоимости решения, необходимости доверия и сложной квалификации клиента.

Для успешного внедрения ИИ-ассистента компаниям необходимо начинать не с выбора технологии, а с описания бизнес-процесса, регламентов, базы знаний, CRM-логики и системы оценки эффективности. Только в этом случае искусственный интеллект становится не модным инструментом, а реальным элементом цифрового управления продажами.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2019.

2. ГОСТ Р 59276–2020. Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения. – Москва : Стандартинформ, 2020.

3. ISO/IEC 42001:2023. Information technology – Artificial intelligence – Management system. Geneva: International Organization for Standardization, 2023.

4. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). Gaithersburg: NIST, 2023.

5. Huang M.-H., Rust R. T. A strategic framework for artificial intelligence in marketing // Journal of the Academy of Marketing Science. 2021. Vol. 49. P. 30–50.

6. Davenport T. H., Ronanki R. Artificial intelligence for the real world // Harvard Business Review. 2018. Vol. 96. № 1. P. 108–116.

7. Yin R. K. Case Study Research and Applications: Design and Methods. 6th ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2018.

8. Rogers D. L. The Digital Transformation Playbook: Rethink Your Business for the Digital Age. New York: Columbia Business School Publishing, 2016.

9. OECD. Recommendation of the Council on Artificial Intelligence. Paris: OECD, 2019.

10. Chui M., Hazan E., Roberts R. et al. The economic potential of generative AI: The next productivity frontier. McKinsey Global Institute, 2023.

УДК 004.8:004.42

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТЕШЕСТВИЙ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Григорян К.А., к.э.н., доцент кафедры цифровой аналитики и технологий искусственного интеллекта;
ORCID: 0000-0001-6470-1832;
E-mail: karigri@yandex.ru;
Иванов Т.П., магистрант ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: tiivanov@kpfu.ru

DEVELOPMENT OF A MULTI-AGENT TRAVEL PLANNING SYSTEM ARCHITECTURE BASED ON LARGE LANGUAGE MODELS

Grigoryan K.A., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Analytics and Artificial Intelligence Technologies;
ORCID: 0000-0001-6470-1832;
E-mail: karigri@yandex.ru;
Ivanov T.P., Master's student, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
E-mail: tiivanov@kpfu.ru

Аннотация

В статье рассматривается задача интеллектуального планирования путешествий с применением больших языковых моделей (Large Language Models, LLM) и агентных архитектур. Актуальность исследования обусловлена тем, что подготовка поездки требует одновременного учета транспортной доступности, размещения, бюджета, погодных условий, визовых ограничений и индивидуальных предпочтений пользователя, а существующие онлайн-сервисы часто распределяют эти данные по разным источникам. Цель работы состоит в разработке архитектуры мультиагентной системы, в которой процесс формирования маршрута разделяется между специализированными агентами и координируется центральным управляющим компонентом. Для оценки эффективности проведено сравнительное архитектурное исследование мультиагентной системы и одноагентного базового подхода на наборе сценариев планирования путешествий с различными ограничениями по срокам, бюджету и пользовательским интересам. Оценка выполнялась по метрикам соблюдения ограничений, полноты маршрута, внутренней согласованности и вычислительных затрат. Результаты экспериментов показали, что мультиагентная архитектура обеспечивает более высокую степень соблюдения пользовательских ограничений и повышает внутреннюю согласованность маршрутов при сохранении сопоставимой полноты планов. При этом выявлено увеличение числа вызовов языковой модели и общего времени выполнения сценариев, что отражает компромисс между качеством планирования и вычислительной стоимостью. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения мультиагентного подхода при проектировании интеллектуальных туристических сервисов, ориентированных на сложные пользовательские сценарии и многоэтапное принятие решений.

Ключевые слова: большие языковые модели, мультиагентные системы, интеллектуальное планирование путешествий, архитектура системы, искусственный интеллект, генеративные модели, туристические сервисы

Abstract

The article examines the problem of intelligent travel planning using Large Language Models (LLM) and agent-based architectures. The relevance of the study is determined by the fact that trip preparation requires the simultaneous consideration of transport accessibility, accommodation, budget, weather conditions, visa restrictions and individual user preferences, while existing online services often distribute these data across different sources. The purpose of the study is to develop the architecture of a multi-agent system in which the itinerary generation process is divided among specialized agents and coordinated by a central control component. To evaluate the effectiveness of the proposed approach, a comparative architectural study of the multi-agent system and a single-agent baseline was conducted on a set of travel planning scenarios with different constraints related to duration, budget and user interests. The evaluation was performed using metrics of constraint satisfaction, itinerary completeness, internal consistency and computational cost. The experimental results show that the multi-agent architecture provides a higher degree of user constraint satisfaction and improves the internal consistency of generated itineraries while maintaining comparable itinerary completeness. At the same time, the number of language model calls and the overall execution time increase, which reflects a trade-off between planning quality and computational cost. The results confirm the feasibility of using a multi-agent approach in the design of intelligent travel services focused on complex user scenarios and multi-stage decision-making.

Keywords: large language models, multi-agent systems, intelligent travel planning, system architecture, artificial intelligence, generative models, travel services

Введение

В последние годы туристическая отрасль развивается в условиях роста объема цифровой информации и усложнения пользовательских сценариев планирования поездок. Подготовка путешествия требует учета множества факторов, включая транспортную доступность, размещение, временные и бюджетные ограничения, визовые требования, погодные условия и индивидуальные предпочтения пользователя. Несмотря на широкое распространение онлайн-сервисов, процесс планирования остается трудоемким и сопровождается значительными временными затратами. По данным отраслевых исследований, пользователи могут тратить несколько часов и даже несколько рабочих дней на поиск, сравнение и бронирование элементов поездки [1, 2].

Перспективным направлением развития интеллектуальных туристических сервисов является применение больших языковых моделей. Такие модели используются для анализа естественного языка, генерации текстов и поддержки диалогового взаимодействия, что позволяет формировать персонализированные маршруты путешествий и объяснять пользователю логику предложенного плана [3]. Использование генеративного искусственного интеллекта способствует переходу от статических сценариев к адаптивным системам, учитывающим контекст запроса и изменяющиеся ограничения.

В настоящее время многие системы интеллектуального планирования путешествий реализуются в рамках одноагентной архитектуры, при которой единая языковая модель выполняет все этапы обработки запроса и формирования маршрута. Такой подход упрощает реализацию, однако имеет архитектурные ограничения: низкую прозрачность принятия решений, вероятность логических противоречий, сложность контроля промежуточных результатов и ограниченную масштабируемость при усложнении пользовательских сценариев [4, 5].

В научных исследованиях все большее внимание уделяется мультиагентным системам на основе больших языковых моделей, предполагающим распределение решения задачи между специализированными агентами [6, 7]. Мультиагентный подход позволяет реализовать разделение ролей, согласование частных решений и дополнительную проверку результатов. Это повышает управляемость интеллектуальной системы и делает процесс формирования маршрута более интерпретируемым.

Цель настоящей работы состоит в разработке и оценке архитектуры мультиагентной системы планирования путешествий на основе больших языковых моделей. Для достижения

цели решаются следующие задачи: определить функциональные роли агентов, описать схему координации между ними, реализовать экспериментальное сравнение с одноагентной архитектурой и оценить качество получаемых маршрутов по выбранным метрикам.

Обзор предметной области

Планирование путешествий представляет собой многоэтапную задачу, включающую интерпретацию пользовательского запроса, подбор транспортных решений и вариантов размещения, формирование перечня достопримечательностей и активностей, а также согласование элементов маршрута по времени и стоимости. Взаимозависимость указанных этапов требует многошагового согласования частных решений в рамках единого маршрута.

В системах планирования путешествий используются разнородные источники данных, включая структурированные данные, полуструктурированные каталоги и неструктурированные текстовые материалы. К структурированным данным относятся расписания транспорта, тарифы и сведения о доступности размещения. К полуструктурированным источникам можно отнести каталоги мероприятий, рейтинги и карточки объектов. Неструктурированные данные представлены пользовательскими отзывами, описаниями достопримечательностей и текстовыми рекомендациями. Совмещение таких данных осложняется различиями в форматах, актуальности и степени достоверности источников [8, 9].

С точки зрения архитектуры существующие интеллектуальные системы планирования путешествий можно разделить на несколько классов. Наиболее простым является монолитный подход, при котором все функции обработки запроса и формирования маршрута сосредоточены в одном вычислительном компоненте или одной языковой модели. Альтернативой являются модульные архитектуры с разделением этапов планирования на отдельные компоненты, а также агентные подходы, предполагающие распределение функций между автономными агентами.

Независимо от архитектурного подхода, интеллектуальные системы планирования реализуют схожий набор функциональных ролей: анализ пользовательского запроса, поиск релевантной информации, фильтрацию вариантов с учетом ограничений, согласование частных решений и формирование итогового маршрута. В более сложных системах дополнительно реализуются функции контроля согласованности и валидации результатов, направленные на выявление временных, логических и бюджетных противоречий.

Для туристических сервисов особенно важна способность системы работать с неполными и неоднозначными запросами. Пользователь может не указывать точный бюджет, предпочтительный район размещения или приоритет между стоимостью и комфортом. В таких условиях архитектура должна поддерживать уточнение запроса, сохранение контекста и поэтапное принятие решений. Мультиагентный подход позволяет выделить эти действия в отдельные роли и уменьшить нагрузку на единый генеративный компонент.

Таким образом, предметная область интеллектуального планирования путешествий характеризуется многоэтапной структурой задачи, использованием разнородных данных и требованиями к согласованности результатов. Эти особенности накладывают ограничения на применяемые архитектурные решения и обосновывают необходимость исследования мультиагентных схем построения интеллектуальных систем.

Методология

В рамках данной работы используется архитектурно-экспериментальный подход к исследованию интеллектуальных систем планирования путешествий. Методология направлена на разработку архитектуры мультиагентной системы на основе больших языковых моделей, а также на сравнительный анализ предложенного решения с одноагентной архитектурой, используемой в качестве базового подхода.

Архитектура мультиагентной системы

Разрабатываемая система планирования путешествий реализована в виде мультиагентной архитектуры, в которой решение задачи распределяется между специализированными агентами, координируемыми центральным управляющим компонентом. Общая схема выполнения представлена на рисунке 1. В качестве основы архитектуры используется граф состоя-

ний, в котором каждый узел соответствует отдельному агенту или функциональному этапу обработки запроса.

Центральным элементом архитектуры является агент-супервизор, отвечающий за координацию работы системы, маршрутизацию управления между агентами и контроль последовательности выполнения этапов планирования. Супервизор инициирует обработку пользовательского запроса, определяет необходимые подзадачи и управляет переходами между агентами в зависимости от текущего состояния задачи.

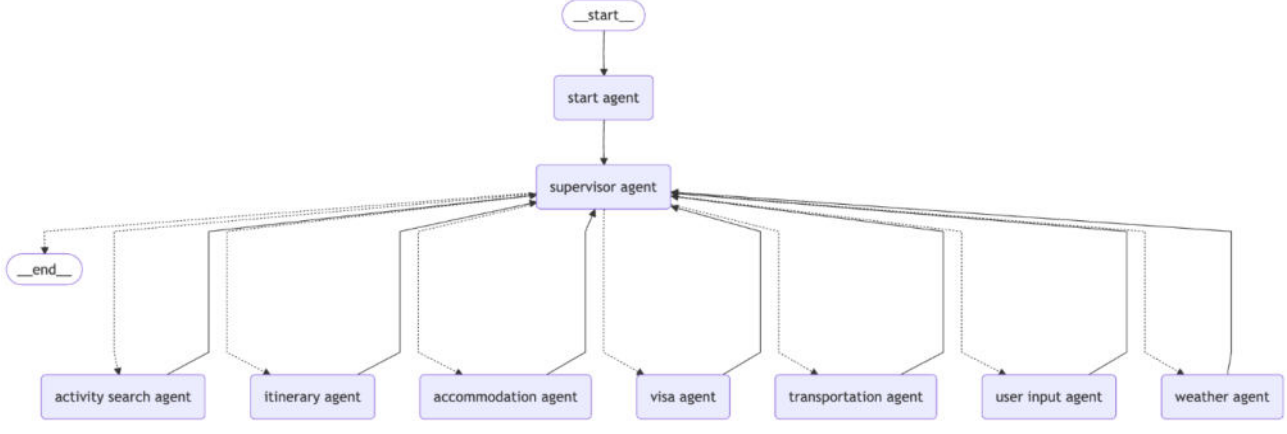


Рис. 1. Граф выполнения с узлами агентов

В системе выделены следующие специализированные агенты: агент обработки пользовательского ввода, агент поиска активностей, агент визовой информации, агент погодных условий, агент размещения, агент транспортных решений и агент генерации итогового маршрута. Агент обработки пользовательского ввода интерпретирует исходный запрос и извлекает ключевые параметры поездки. Агент поиска активностей использует внешний поисковый механизм для получения информации о популярных занятиях и достопримечательностях. Агент визовой информации предоставляет сведения о визовых требованиях для выбранного направления. Агент погодных условий получает актуальные метеоданные через внешний программный интерфейс приложения (Application Programming Interface, API). Агент размещения реализует поиск вариантов проживания с использованием векторной базы данных на основе эмбеддингов и механизма семантического поиска. Агент транспортных решений формирует рекомендации по перемещениям между пунктами маршрута. Агент генерации итогового маршрута объединяет результаты работы всех агентов в согласованный план путешествия.

Обмен данными между агентами осуществляется через общее состояние системы. Такой подход обеспечивает сохранение контекста, возможность последовательного уточнения решения и передачу промежуточных результатов между этапами планирования. При необходимости агент-супервизор может инициировать повторное выполнение отдельного этапа, если в общем состоянии выявлены неполные или противоречивые данные.

Одноагентная архитектура

В качестве базового варианта для сравнения используется одноагентная архитектура, в рамках которой единая большая языковая модель получает пользовательский запрос и формирует полный маршрут путешествия в одном или нескольких последовательных вызовах. Данный подход не предполагает явного разделения функций, использования специализированных агентов или промежуточного согласования частных решений. Одноагентная архитектура выбрана в качестве базового подхода как наиболее распространенный и интуитивно понятный способ применения больших языковых моделей в задачах планирования путешествий.

Экспериментальный дизайн

Оценка эффективности предложенной мультиагентной архитектуры проводится посредством сравнительного исследования с одноагентным подходом. Для обеих архитектур

используются одинаковые входные данные, одинаковая языковая модель Mistral Large [10] и фиксированные параметры генерации. Температура генерации варьируется в диапазоне от 0 до 0,3 и фиксируется для всех запусков эксперимента.

Для снижения влияния стохастической природы генерации каждый сценарий выполняется три раза, после чего результаты усредняются. В качестве тестовых данных используется набор из десяти сценариев планирования путешествий по различным странам. Сценарии охватывают разные длительности поездок, бюджеты, интересы пользователей и ограничения, что позволяет оценить устойчивость архитектур к разнообразным условиям.

Метрики оценки

Для количественной и качественной оценки результатов используются четыре метрики. Constraint Satisfaction Rate (CSR) отражает долю сценариев, в которых итоговый маршрут полностью удовлетворяет заданным ограничениям пользователя, включая длительность поездки, бюджетные рамки и дополнительные условия. Для каждого прогона значение метрики принимает бинарное значение: 1, если все ограничения соблюдены, и 0 в противном случае.

Itinerary Completeness (IC) характеризует полноту маршрута и отражает наличие структурированного плана по дням, вариантов размещения, активностей и логики перемещений. Значение метрики определяется по дискретной шкале от 0 до 3, где 0 соответствует отсутствию структурированного маршрута, а 3 – полностью сформированному маршруту с логикой перемещений.

Internal Consistency (INC) оценивает внутреннюю согласованность маршрута и характеризует отсутствие логических противоречий, временных конфликтов и несоответствий между элементами плана. Метрика рассчитывается по дискретной шкале от 0 до 3, где большее значение соответствует меньшему числу выявленных противоречий.

Efficiency Cost (EC) отражает вычислительные затраты и измеряется числом вызовов языковой модели, а также общим временем выполнения сценария. Все метрики рассчитываются для одноагентной и мультиагентной архитектур на одном и том же наборе сценариев, что обеспечивает корректность сравнения.

Результаты и выводы

В таблице 1 приведены средние значения метрик для одноагентной и мультиагентной архитектур, рассчитанные по всем сценариям и усредненные по нескольким прогонам. Представленные показатели отражают степень соблюдения пользовательских ограничений, полноту и согласованность сформированных маршрутов, а также вычислительные затраты, связанные с выполнением сценариев.

Таблица 1

Сравнение одноагентной и мультиагентной архитектур по средним значениям метрик

Архитектура	CSR	IC	INC	Среднее число вызовов LLM	Среднее время выполнения, с
Одноагентная	0,40	3,00	1,60	5	92
Мультиагентная	0,73	3,00	2,10	17	193

Полученные результаты показывают, что мультиагентная архитектура демонстрирует более высокое значение показателя соблюдения пользовательских ограничений по сравнению с одноагентным подходом. Значение CSR для мультиагентной архитектуры составило 0,73, тогда как для одноагентной архитектуры – 0,40. Это свидетельствует о более корректной обработке заданных требований и ограничений при формировании маршрутов.

Показатель полноты маршрута для обеих архитектур достигает максимального значения. Это означает, что как одноагентная, так и мультиагентная система способны формиро-

вать структурированные планы путешествий, включающие распределение активностей по дням и общую логику перемещений. Следовательно, основное различие между архитектурами проявляется не в наличии элементов маршрута, а в качестве их согласования и соблюдении ограничений.

Показатель внутренней согласованности также выше для мультиагентной архитектуры: 2,10 против 1,60 у одноагентного подхода. Это отражает снижение количества логических и временных противоречий в итоговых маршрутах. Вероятной причиной является разделение функций между специализированными агентами и наличие общего состояния, через которое промежуточные результаты могут последовательно уточняться.

В то же время результаты подтверждают увеличение вычислительных затрат при использовании мультиагентного подхода. Среднее число вызовов языковой модели увеличилось с 5 до 17, а среднее время выполнения сценария – с 92 до 193 секунд. Таким образом, мультиагентная архитектура обеспечивает более высокое качество планирования, но требует дополнительных вычислительных ресурсов и более сложной реализации.

Полученные данные позволяют рассматривать мультиагентный подход как предпочтительный для сценариев, где критичны соблюдение ограничений, прозрачность этапов планирования и согласованность результата. Для простых запросов, не содержащих большого числа ограничений, одноагентная архитектура может оставаться более рациональным решением из-за меньшей вычислительной стоимости и простоты внедрения.

Заключение

В рамках данной работы была разработана архитектура мультиагентной системы планирования путешествий на основе больших языковых моделей и проведено сравнительное архитектурное исследование с одноагентным подходом. Предложенная архитектура основана на распределении функций между специализированными агентами и координации их работы с помощью агента-супервизора.

Результаты экспериментов показали, что использование мультиагентной архитектуры позволяет повысить степень соблюдения пользовательских ограничений и внутреннюю согласованность формируемых маршрутов при сохранении сопоставимой полноты планов путешествий. При этом улучшение качества достигается за счет увеличения числа вызовов языковой модели и общего времени выполнения сценариев.

Представленный архитектурный подход может быть использован при разработке интеллектуальных туристических сервисов, ориентированных на обработку сложных пользовательских сценариев и многоэтапное принятие решений. Дальнейшее развитие исследования может быть связано с оптимизацией числа агентных вызовов, расширением набора сценариев, подключением актуальных внешних источников данных и более детальной оценкой пользовательского опыта.

Список литературы

1. Priceline. New Priceline Research Finds Average Traveler Spends Two Full Work Days to Plan and Book Trips [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: https://press.priceline.com/new-priceline-research-finds-average-traveler-spends-two-full-work-days-to-plan-and-book-trips/ (дата обращения: 20.05.2026).

2. Expedia Group. Travelers Spend Over 5 Hours Researching Trips on Average – Longer Than Flying from Los Angeles to Washington, DC [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: https://www.expediagroup.com/investors/news-and-events/financial-releases/news/news-details/2023/TRAVELERS-SPEND-OVER-5-HOURS-RESEARCHING-TRIPS-ON-AVERAGE---LONGER-THAN-FLYING-FROM-LOS-ANGELES-TO-WASHINGTON-DC---ACCORDING-TO-EXPEDIA-GROUP-RESEARCH/default.aspx (дата обращения: 20.05.2026).

3. Udandarao P. [et al.]. Roamify: Designing and Evaluating an LLM-Based Chrome Extension for Personalised Itinerary Planning // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2504.10489. – 12 p.

4. Sreedhar K., Chilton L. Simulating Strategic Reasoning: Comparing the Ability of Single LLMs and Multi-Agent Systems to Replicate Human Behavior // arXiv preprint. – 2024. – arXiv: 2402.08189. – 10 p.

5. Liu B. [et al.]. Single-Agent or Multi-Agent Systems? Why Not Both? // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2505.18286. – 56 p.

6. Guo T. [et al.]. Large Language Model-based Multi-Agents: A Survey of Progress and Challenges // arXiv preprint. – 2024. – arXiv:2402.01680. – 15 p.

7. Chen S. [et al.]. A Survey on LLM-based Multi-Agent System: Recent Advances and New Frontiers in Application // arXiv preprint. – 2024. – arXiv:2412.17481. – 13 p.

8. Ilieva G., Yankova T., Klisarova-Belcheva S. Effects of Generative AI in Tourism Industry // Information. – 2024. – Vol. 15, № 11. – Article 671. – DOI: 10.3390/info15110671.

9. Koo I., Zaman U., Ha H., Nawaz M. Sh. Assessing the interplay of trust dynamics, personalization, ethical AI practices and tourist behavior in the adoption of AI-driven smart tourism technologies // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2025. – Vol. 11, № 1. – P. 1-10. – DOI: 10.1016/j.joitmc.2024.100455.

10. Mistral AI. Mistral Large 3 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.mistral.ai/models/mistral-large-3-25-12 (дата обращения: 20.05.2026).

УДК 004.9:004.77

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КЛИЕНТАМИ В АВТОСЕРВИСЕ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ «1С:ПРЕДПРИЯТИЕ»

Егоров А.С., магистрант;
ORCID: 0009-0007-2938-7797;
E-mail: wolfmouth2013@gmail.com;
Сагитова Ю.Р., магистрант кафедры прикладной информатики;
ORCID: 0009-0007-7537-5930;
E-mail: s.ylia30@mail.ru;
Ишмурадова И.И., к.н., доцент, заведующий кафедрой, Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны, Россия;
ORCID: 0000-0001-6307-8292;
E-mail: izida-89@mail.ru

IMPROVEMENT OF THE CUSTOMER INTERACTION INFORMATION SYSTEM IN A CAR SERVICE BASED ON «1C:ENTERPRISE» PLATFORM

Egorov A.S., Master student;
ORCID: 0009-0007-2938-7797;
E-mail: wolfmouth2013@gmail.com;
Sagitova J.R., Master student of the Department of Applied Informatics;
ORCID: 0009-0007-7537-5930;
E-mail: s.ylia30@mail.ru;
Ishmuradova I.I., Ph.D., Associate Professor, Head of the Department at Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia;
ORCID: 0000-0001-6307-8292;
E-mail: izida-89@mail.ru

Аннотация

Учет и систематизация взаимодействия с клиентами является критически важным элементом успешного функционирования современного предприятия в сфере автоуслуг. В данной статье рассматривается проблема оптимизации бизнес-процесса «Взаимодействие с клиентами» на примере действующего автосервиса ООО «Авторемстрой». Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения качества обслуживания, сокращения времени обработки обращений и автоматизации рутинных операций в условиях высокой конкуренции. Целью работы является совершенствование информационной системы взаимодействия с клиентами для повышения общей эффективности деятельности организации с использованием платформы «1С:Предприятие». В ходе исследования проведен детальный анализ существующей бизнес-модели (AS-IS) с использованием методологий IDEF0, IDEF3, DFD и ARIS. Выявлены ключевые недостатки: разрозненность данных, ручной ввод информации, потеря истории обращений и затрудненная аналитика. Для устранения проблем спроектирована модель TO-BE и разработан специализированный модуль в среде «1С:Предприятие 8.3». Разработанное решение включает функционал для автоматизированного сбора обратной связи посредством онлайн-форм, системы почтовых рассылок с использованием шаблонов, а также подпроцесс учета сезонного хранения шин. Наш опыт работы с коммерческими операциями в 1С подтверждает, что грамотная маршрутизация спецификаций и клиентских заказов в единой среде существенно снижает процент ошибок и сокращает административные издержки. В заключительной части статьи приведена оценка экономической эффективности предложенного ИТ-решения. Инвестиционный анализ показал высокую рентабельность проекта: чистая текущая стоимость (NPV) составила 37 912 рублей, внутренняя норма доходности (IRR) достигла 88,98%, а дисконтированный срок окупаемости составил 8,4 месяца. Результаты подтверждают целесообразность внедрения модуля.

Ключевые слова: автоматизация, бизнес-процесс, 1С:Предприятие, взаимодействие с клиентами, автосервис, моделирование процессов, IDEF0, экономическая эффективность

Abstract

Accounting and systematization of customer interactions is a critical element for the successful operation of a modern enterprise in the auto service sector. This article addresses the problem of optimizing the «Customer Interaction» business process using the example of the existing car service LLC «Avtoremstroy». The relevance of the research is driven by the need to improve service quality, reduce the processing time for requests, and automate routine operations in a highly competitive environment. The aim of the work is to improve the customer interaction information system to increase the overall organizational efficiency using the «1C: Enterprise» platform. During the study, a detailed analysis of the existing business model (AS-IS) was conducted using IDEF0, IDEF3, DFD, and ARIS methodologies. Key shortcomings were identified: data fragmentation, manual information entry, loss of interaction history, and difficult analytics. To eliminate these problems, a TO-BE model was designed, and a specialized module was developed in the «1C: Enterprise 8.3» environment. The developed solution includes functionality for automated feedback collection via online forms, a mailing system using templates, as well as a subprocess for accounting for seasonal tire storage. Our practical experience with commercial operations in 1C confirms that competent routing of specifications and customer orders within a unified environment significantly reduces the error rate and cuts administrative costs. The final part of the article presents an assessment of the economic efficiency of the proposed IT solution. Investment analysis showed high project profitability: the net present value (NPV) amounted to 37,912 rubles, the internal rate of return (IRR) reached 88,98%, and the discounted payback period was 8,4 months. The results confirm the feasibility of implementing the module.

Keywords: automation, business process, 1C:Enterprise, customer interaction, car service, process modeling, IDEF0, economic efficiency

Введение

В современных экономических условиях предприятия автосервисной отрасли вынуждены непрерывно работать над улучшением качества предоставляемых услуг, оптимизацией издержек и более эффективным управлением ресурсами [1]. Особое значение приобретает комплексный контроль за взаимодействием с клиентами, так как от оперативности и качества обработки обращений напрямую зависит лояльность потребителей и общая результативность деятельности компании.

Объектом исследования в рамках данной работы выступает бизнес-процесс «Взаимодействие с клиентами» на примере ООО «Авторемстрой». Преобладающей сферой деятельности компании является техническое обслуживание и ремонт легковых и коммерческих автомобилей, а также подбор и реализация запасных частей [1]. В настоящее время на предприятии наблюдается ряд существенных недостатков в процессах взаимодействия с потребителями. Информация о заявках и отзывах клиентов разрознена, активно применяются Excel-файлы и бумажные журналы [1]. Отсутствие единой системы учета в основной корпоративной информационной системе приводит к тому, что менеджеры лишены полного контекста истории обслуживания при повторных обращениях, а ручной ввод данных провоцирует опечатки и потерю важной информации [1].

Оптимизация данного бизнес-процесса за счет автоматизации учета обратной связи и расширения спектра услуг (в частности, приема шин на сезонное хранение) позволит минимизировать ошибки, ускорить коммуникацию и обеспечить персонализированный подход к каждому заказчику [1]. Целью работы является совершенствование процесса «Взаимодействие с клиентами» с использованием современных информационных технологий и платформы «1С:Предприятие 8.3».

Методика

Для глубокого понимания логики функционирования автосервиса и выявления узких мест была проведена формализация бизнес-процессов с использованием инструментария AllFusion Process Modeler и методологий структурного анализа IDEF0, DFD, а также методологии событийно-управляемого моделирования ARIS [1].

На этапе анализа состояния «AS-IS» («как есть») процесс взаимодействия с клиентами был декомпозирован на пять основных подпроцессов: регистрация обращения клиента, первичная консультация и прием авто, предоставление услуги, выдача автомобиля клиенту, пост-обслуживание и обратная связь [1]. DFD-модель показала, что администратор выступает центральным узлом, через который проходят все информационные потоки между клиентом, мастером-приемщиком и разрозненными базами данных [1].

В результате реинжиниринга была разработана модель «TO-BE» («как должно быть»), ключевыми нововведениями которой стали автоматизация сбора обратной связи и интеграция нового подпроцесса – «Сезонное хранение шин» [1]. В модели «TO-BE» сбор обратной связи инициируется автоматически посредством отправки формы на электронную почту клиента после завершения работ, а результаты интегрируются напрямую в систему 1С без ручного дублирования [1]. Аналогичным образом, блок сезонного хранения полностью переведен в цифровую среду: от фиксации характеристик колес (модель, размер, наличие диска, износ) до автоматического расчета сроков хранения.

Основная часть

На основе спроектированной физической модели данных был разработан специализированный модуль для платформы «1С: Предприятие 8.3» [1]. Выбор платформы 1С обусловлен ее гибкостью, широкими возможностями кастомизации и невысокой стоимостью владения для средних предприятий [1]. Опыт управления клиентскими заказами, ведения реестров контрактов и работы со спецификациями в коммерческих операциях доказывает, что централизация документооборота в 1С устраняет дублирование функций и значительно ускоряет бизнес-процессы.

Архитектура разработанного модуля включает набор взаимосвязанных объектов конфигурации:

1. Справочники («Клиенты», «Автомобили», «Шины», «Шаблоны рассылок») – хранят нормативно-справочную информацию. Так, справочник «Клиенты» агрегирует базовые данные и выступает связующим звеном для всех документов модуля [1].

2. Документы («Заявка на хранение шин», «Прием шин на хранение», «Выдача шин с хранения», «Рассылка клиентам», «Обратная связь», «Заказ-наряд», «Акт выполненных работ») – фиксируют факты хозяйственной деятельности [1].

Программная реализация модуля включает алгоритмы автоматизированной обработки информации. Например, при оформлении услуги сезонного хранения в документе «Заявка на хранение шин» реализован функционал автоматического расчета оставшегося срока хранения в днях на базе реквизитов «Дата начала хранения» и «Дата окончания хранения» [1]. Также внедрена функция быстрого заполнения табличной части характеристиками четырех покрышек на основе выбранной номенклатуры, что значительно ускоряет работу мастера-приемщика.

Подсистема работы с обратной связью реализована за счет выгрузки данных из внешнего облачного сервиса (Google Forms) в формате Excel и их последующей автоматической загрузки в документ «Обратная связь» с помощью обработки «ЗагрузкаДанныхИзФайла» [1]. Код на встроенном языке 1С последовательно инициализирует табличный документ, считывает ячейки, формирует записи в информационной базе и предоставляет аналитические отчеты об удовлетворенности клиентов [1]. Функционал рассылки использует объект «ИнтернетПочта» для массовой генерации писем с акционными предложениями на основе заранее подготовленных шаблонов [1].

Внедренная ролевая модель разделяет права доступа между администратором, менеджером и мастером-приемщиком, обеспечивая защиту коммерческой информации и контроль исполнения должностных обязанностей.

Выводы

Для подтверждения целесообразности предложенного решения была проведена комплексная оценка экономической эффективности ИТ-проекта. Расчет бюджета инвестиций включал затраты на предпроектный анализ, реинжиниринг, непосредственную разработку модуля в среде 1С и его внедрение. Суммарные капиталовложения составили 99 219 рублей [1].

Ожидаемая экономия себестоимости за счет сокращения временных потерь персонала, автоматизации рутинных операций (заполнение актов приема-передачи, обзвон клиентов, формирование аналитики) составила 17 025 рублей ежемесячно [1]. С учетом налога на прибыль (25%), чистый денежный поток (NCF) предприятия увеличивается на 12 769 рублей /в месяц [1].

Инвестиционный анализ, проведенный с учетом ставки дисконтирования 21% годовых, продемонстрировал следующие показатели эффективности:

– чистая текущая стоимость проекта (NPV) за 12 месяцев планирования составила 37 912 руб. [1];

– внутренняя норма доходности проекта (IRR) достигла 88,98%, что свидетельствует о высокой устойчивости проекта к экономическим рискам [1];

– индекс доходности инвестиций (PI) равен 1,38 [1];

– простой срок окупаемости составил 7,8 месяцев, а дисконтированный срок окупаемости инвестиций (DPP) – 8,4 месяца [1].

Таким образом, система финансовых показателей доказывает высокую рентабельность разработанного модуля. Внедрение усовершенствованной информационной системы на платформе «1С:Предприятие» позволяет ООО «Авторемстрой» не только повысить скорость и качество взаимодействия с клиентами, но и обеспечить предприятию устойчивый экономический эффект, укрепляя его конкурентные позиции на рынке автосервисных услуг.

Список литературы

1. Егоров, А. С. Совершенствование информационной системы взаимодействия с клиентами для повышения эффективности деятельности организации с использованием платформы «1С:Предприятие» (Выпускная квалификационная работа). Набережные Челны: Набережночелнинский институт КФУ, 2025. – 89 с.
2. Хрусталева Е. Ю. Разработка сложных отчетов в «1С:Предприятии 8». Система компоновки данных. 4-е изд. М.: 1С-Паблишинг, 2024. – 500 с.
3. Радченко М. Г., Хрусталева Е. Ю. 1С: Предприятие 8.3 практическое пособие разработчика. – М.: 1С-Паблишинг, 2013. – 926 с.
4. Масленникова О. Е., Назарова О. Б. Моделирование бизнес-процессов: учебно-методическое пособие. – М.: Флинта, 2017. – 262 с.
5. Гимельштейн Е. А., Годван Д. Ф., Иконников Н. Е. Логистика склада: процессы внедрения автоматизации в современные склады. – Иркутск: ИГУ, 2021. – 150 с.
6. Иванченко Д. С. 1С:Предприятие за 5 занятий. – М.: Феникс, 2023. – 192 с.
7. Smith A. B., Johnson C. D. Customer relationship management systems in automotive aftersales // Journal of Retailing and Consumer Services. – 2021. – Vol. 58. – P. 102-115.
8. Williams R. Business process modeling and reengineering using ARIS and IDEF // International Journal of Information Management. – 2022. – Vol. 63. – P. 1024-1035.
9. Brown T., Davis M. Automation of customer feedback loops in service industries // Service Business. – 2020. – Vol. 14, No. 2. – P. 200-218.

УДК 004.9:005.94

РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ: ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Еремеев М.С., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-1200-4476

REENGINEERING BUSINESS PROCESS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION: AS AN APPROACH TO ASSESS THE INFORMATION INTERACTION

Eremeev M.S., Master's student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-1200-4476

Аннотация

Внедрение информационных систем не всегда приводит к повышению эффективности бизнес-процессов предприятия. Если существующий порядок работы содержит повторный ввод данных, ручную передачу информации, избыточные согласования и использование нескольких независимых источников данных, цифровизация отдельных операций может сохранить основные недостатки процесса. В статье рассматривается реинжиниринг бизнес-процессов с учётом качества информационного взаимодействия между его участниками. Цель исследования заключается в разработке подхода к преобразованию бизнес-процесса, позволяющего сопоставить его текущее и целевое состояние и дополнительно оценить изменение информационной связанности. В работе использованы процессный и системный подходы, моделирование AS-IS и TO-BE, анализ информационных потоков, сравнительный анализ

и количественная оценка. Предложен показатель информационной связанности бизнес-процесса, учитывающий количество повторных вводов и ручных передач значимой информации. Возможности подхода продемонстрированы на модельном процессе обработки заявки на закупку материальных ресурсов. В расчётном сценарии продолжительность процесса сокращается с 2,5 до 0,8 часа, количество ручных операций – с 9 до 4, а количество повторного ввода данных – с 4 до 1. Показатель информационной связанности увеличивается с 0,417 до 0,750. Полученные результаты показывают, что существенный эффект цифровизации может быть связан не только с автоматизацией отдельных действий, но и с изменением логики процесса и устранением информационных разрывов. Предложенный подход может использоваться при обследовании бизнес-процессов, разработке требований к информационным системам и подготовке проектов цифровой трансформации.

Ключевые слова: бизнес-процесс, реинжиниринг, цифровая трансформация, цифровизация, информационное взаимодействие, информационная система, моделирование, автоматизация, BPM, процессная аналитика

Abstract

The implementation of information systems does not always improve the efficiency of enterprise business processes. If an existing process contains repeated data entry, manual information transfer, excessive approvals, and several independent data sources, the digitalization of individual activities may preserve the main process deficiencies. This paper considers business process reengineering with a focus on the quality of information interaction between process participants. The purpose of the study is to develop an approach to transforming a business process by comparing its current and target states and additionally assessing changes in information connectivity. The study applies process and systems approaches, AS-IS and TO-BE modeling, information flow analysis, comparative analysis, and quantitative assessment. An information connectivity indicator is proposed that takes into account repeated data entry and manual transfer of significant information. The applicability of the approach is demonstrated using a model process for handling a material purchase request. In the model scenario, process duration decreases from 2.5 to 0.8 hours, the number of manual operations from 9 to 4, and repeated data entry from 4 to 1. The information connectivity indicator increases from 0.417 to 0.750. The results indicate that a significant effect of digitalization can be achieved not only through automation of individual activities but also through changing process logic and eliminating information gaps. The proposed approach can be applied to business process assessment, information system requirements engineering, and digital transformation projects.

Keywords: business process, reengineering, digital transformation, digitalization, information interaction, information system, process modeling, automation, BPM, process analytics

Введение

Цифровизация предприятий в последние годы всё чаще рассматривается не как отдельное внедрение программного обеспечения, а как изменение способов выполнения работы. Информационные системы становятся частью процессов закупки, производства, логистики, продаж, финансового управления и взаимодействия с клиентами. При этом наличие цифрового инструмента само по себе не означает, что процесс стал эффективнее.

На практике возможна ситуация, когда предприятие переводит бумажную заявку в электронную форму, но сохраняет прежнюю последовательность согласований. Сотрудник продолжает переносить данные из одного документа в другой, а информация между подразделениями передаётся через электронную почту или отдельные таблицы. Формально процесс уже является цифровым, однако его организационная структура практически не изменилась.

Отдельного внимания заслуживает различие между цифровизацией отдельных операций и цифровой трансформацией. В исследованиях цифровой трансформации подчёркивается, что она затрагивает не только технологии, но и организационные структуры, процессы

и способы создания ценности [2]. Поэтому оценивать результат цифровых изменений только по количеству внедрённых программных продуктов недостаточно.

Для предприятия важен другой вопрос: как изменился сам процесс после внедрения цифровых технологий?

В рамках данной работы предлагается рассматривать одним из объектов такого анализа информационное взаимодействие между участниками бизнес-процесса.

Под информационным взаимодействием далее понимается движение значимой для процесса информации между операциями и участниками, включая её создание, передачу, обработку, изменение и повторный ввод.

Цель исследования – разработать подход к реинжинирингу бизнес-процессов предприятия в условиях цифровой трансформации с дополнительной оценкой изменения информационного взаимодействия.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

– рассмотреть особенности реинжиниринга бизнес-процессов при цифровой трансформации;

– определить основные виды информационных разрывов в бизнес-процессах;

– разработать последовательность анализа текущего и целевого состояния процесса;

– предложить показатель оценки информационной связанности;

– продемонстрировать применение подхода на модельном бизнес-процессе;

– сравнить показатели процесса до и после реинжиниринга.

Объект исследования – бизнес-процессы предприятия.

Предмет исследования – методы реинжиниринга бизнес-процессов с применением цифровых технологий для повышения эффективности информационного взаимодействия.

В качестве методов исследования использованы системный и процессный подходы, моделирование бизнес-процессов, анализ информационных потоков, сравнительный анализ и количественная оценка.

1. Особенности реинжиниринга бизнес-процессов в цифровой среде

Процессный подход позволяет рассматривать деятельность предприятия через последовательность действий, преобразующих определённые входы в выходной результат. В отличие от функционального представления, при котором внимание сосредоточено преимущественно на отдельных подразделениях, процессная модель позволяет проследить движение работы между организационными границами.

Такой подход имеет непосредственное значение для цифровой трансформации. Информационная система обычно используется сразу несколькими участниками процесса, поэтому недостатки взаимодействия между подразделениями могут оказаться более существенными, чем недостатки отдельных операций.

Реинжиниринг отличается от постепенного совершенствования тем, что предполагает пересмотр самой логики процесса. В классических работах по реинжинирингу основное внимание уделяется радикальному переосмыслению способов выполнения работы и использованию информационных технологий как инструмента преобразования процессов [5, 6].

Отсюда следует важный принцип: перед автоматизацией необходимо определить, нужна ли соответствующая операция в целевом процессе.

Если операция является следствием ограничений старой организации работы, её автоматизация не устраняет саму причину возникновения процесса. В результате предприятие может получить цифровизированную, но всё ещё неэффективную процедуру.

Различие между автоматизацией и реинжинирингом представлено в таблице 1.

Таким образом, автоматизация и реинжиниринг не являются взаимозаменяемыми понятиями. Реинжиниринг отвечает на вопрос о том, как должен быть организован процесс, а автоматизация – на вопрос о том, какие его операции целесообразно выполнять с использованием информационных технологий.

Таблица 1

Отличия автоматизации и реинжиниринга бизнес-процесса

Критерий	Автоматизация существующего процесса	Реинжиниринг
Основной вопрос	Как выполнить существующую операцию быстрее?	Каким должен быть целевой процесс?
Исходная модель	В основном сохраняется	Пересматривается
Основной объект изменений	Отдельные операции	Процесс в целом
Роль информационной системы	Средство автоматизации	Инструмент реализации целевой модели
Избыточные операции	Могут сохраняться	Выявляются и исключаются
Основной результат	Сокращение трудоёмкости отдельных действий	Изменение логики и результатов процесса

2. Информационные разрывы в бизнес-процессах

В межфункциональном процессе информация может передаваться между несколькими сотрудниками, подразделениями и информационными системами. При этом одна и та же информация иногда создаётся несколько раз.

Каждая операция по отдельности может казаться обоснованной. Однако в совокупности возникает несколько информационных разрывов:

– повторный ввод одних и тех же сведений;
– ручная передача информации;
– наличие нескольких источников данных;
– использование промежуточных документов;
– отсутствие единого статуса процесса.

В результате фактическая продолжительность процесса определяется не только временем непосредственной обработки заявки, но и временем ожидания и передачи информации.

При этом ручная операция не всегда является недостатком. В процессах, связанных с финансовыми решениями, безопасностью или контролем качества, участие человека может быть необходимым. Поэтому задача реинжиниринга состоит не в полном исключении ручного труда, а в устранении тех действий, которые не создают дополнительной ценности или возникают исключительно из-за организации информационного обмена.

Для количественного анализа предлагается показатель информационной связанности бизнес-процесса:

$$I_{inf} = 1 - \frac{N_r + N_m}{N_i}, \quad (1)$$

где: I_{inf} – показатель информационной связанности;

N_r – количество операций повторного ввода данных;

N_m – количество ручных передач значимой информации;

N_i – общее количество значимых информационных операций процесса.

Показатель находится в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе его значение к единице, тем меньше доля повторных и ручных информационных действий.

Предлагаемый показатель не заменяет традиционные показатели эффективности. Его задача состоит в дополнительной оценке структуры информационного взаимодействия.

3. Подход к реинжинирингу бизнес-процесса

Предлагаемый подход включает семь последовательных этапов: определение границ процесса, построение модели AS-IS, анализ информационных потоков, выявление проблем, определение возможностей цифровизации, формирование модели TO-BE и оценку результатов. На первом этапе фиксируются границы процесса, его входы, выходы и участники. Далее анализируется фактическая последовательность операций и движение информации между ними. На основе выявленных информационных разрывов формируется целевая модель, в которой исключаются избыточные операции и автоматизируются действия, не требующие непосредственного участия сотрудника. Завершающим этапом является сравнение показателей текущего и целевого состояний.

Таким образом, оценка проводится не только по времени выполнения, но и по изменению структуры информационного взаимодействия.

4. Модельный пример реинжиниринга процесса закупки

Для демонстрации предложенного подхода рассмотрим процесс обработки заявки на закупку материальных ресурсов.

Важно отметить, что приведённые далее значения являются модельными. Они не представляют статистику конкретного предприятия и используются исключительно для проверки применимости предложенной методики.

4.1. Модель AS-IS

Исходная модель процесса включает следующие действия:

– сотрудник подразделения определяет потребность;
– создаёт заявку;
– передаёт заявку руководителю;
– руководитель проверяет заявку;
– при необходимости заявка возвращается инициатору;
– специалист по закупкам получает заявку;
– переносит данные в рабочую таблицу;
– выполняет ручную проверку;
– переносит сведения в корпоративную систему;
– передаёт информацию на финансовое согласование;
– после согласования запускает закупочную процедуру.

В такой модели одна и та же информация может существовать одновременно в нескольких формах: исходной заявке, рабочей таблице и корпоративной системе. Это создаёт повторный ввод данных и несколько ручных передач информации, а последовательное согласование увеличивает время ожидания.

4.2. Модель TO-BE

В целевой модели предлагается использовать единый информационный объект «Заявка на закупку».

Сотрудник создаёт заявку непосредственно в корпоративной информационной системе. Обязательные реквизиты проверяются автоматически. После регистрации заявка получает уникальный идентификатор.

Далее система формирует маршрут согласования на основе установленных правил. Руководитель получает уведомление и принимает решение непосредственно в системе.

После согласования специалист по закупкам работает с тем же объектом. Перенос данных в отдельную таблицу не требуется.

Целевая последовательность имеет следующий вид:

создание заявки → автоматическая проверка → электронное согласование → проверка закупочной службой → формирование заказа → контроль исполнения.

Таким образом, несколько промежуточных информационных операций исключаются.

5. Количественная оценка результатов

Для сравнения моделей используются расчётные значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение характеристик процесса AS-IS и TO-BE

Показатель	AS-IS	TO-BE	Изменение
Время выполнения, ч	2,5	0,8	−68,0 %
Ручные операции, ед.	9	4	−55,6 %
Повторный ввод данных, ед.	4	1	−75,0 %
Информационные передачи, ед.	6	3	−50,0 %
Последовательные согласования, ед.	4	2	−50,0 %

Сокращение времени выполнения определяется следующим образом:

$$E_T = \frac{T_{AS-IS} - T_{TO-BE}}{T_{AS-IS}} \times 100\,. \quad (2)$$

Подставляя значения из таблицы 2:

$$E_T = \frac{2{,}5 - 0{,}8}{2{,}5} \times 100\% = 68\%\,. \quad (3)$$

Следовательно, в рамках модельного сценария продолжительность процесса сокращается на 68%.

Для оценки информационной связанности принимаются следующие значения.

Для модели AS-IS:

$$N_r = 4, N_m = 3, N_i = 12.$$

Тогда:

$$I_{inf}^{AS-IS} = 1 - \frac{4+3}{12} = 0{,}417\,. \quad (4)$$

Для модели TO-BE:

$$N_r = 1, N_m = 2, N_i = 12\,.$$

Следовательно:

$$I_{inf}^{TO-BE} = 1 - \frac{1+2}{12} = 0{,}750\,. \quad (5)$$

Абсолютное изменение составляет:

$$\Delta I_{inf} = 0{,}750 - 0{,}417 = 0{,}333\,. \quad (6)$$

Относительное изменение:

$$E_I = \frac{0{,}750 - 0{,}417}{0{,}417} \times 100\% \approx 79{,}9\%\,. \quad (7)$$

Таким образом, в модельном сценарии показатель информационной связанности увеличивается примерно на 79,9%.

При этом данный результат не означает, что общая эффективность предприятия увеличилась на 79,9%. Рассчитанное значение относится исключительно к предложенному показателю.

Такое разграничение необходимо, поскольку повышение информационной связанности само по себе не гарантирует повышения качества результата. Например, автоматическая передача ошибочных данных не является положительным результатом только потому, что она исключает ручной ввод.

6. Цифровые технологии для реализации целевой модели

Особое значение имеет интеграция информационных систем. Если разные подразделения работают с одним информационным объектом, необходимость повторного ввода данных снижается.

При этом технической интеграции недостаточно. Необходимо согласовать структуру данных, справочники, форматы и правила обработки информации.

После внедрения целевой модели появляется возможность анализировать фактическое выполнение процесса. Одним из соответствующих инструментов является process mining, позволяющий исследовать процессы на основе журналов событий информационных систем [4].

Такой анализ позволяет сравнивать фактическое выполнение процесса с его целевой моделью и выявлять новые отклонения.

В результате формируется цикл:

моделирование → анализ → реинжиниринг → цифровизация → мониторинг → повторный анализ.

Такой подход соответствует представлению о BPM как о непрерывном цикле управления бизнес-процессами [1].

7. Обсуждение результатов

Проведённое модельное исследование показывает, что потенциал цифровизации может находиться не только в автоматизации отдельных операций. Существенный эффект может быть получен за счёт изменения структуры информационного взаимодействия.

Если несколько сотрудников последовательно работают с одним набором данных, исключение повторного ввода способно дать больший эффект, чем простое ускорение отдельных операций.

Показатель дополняет традиционные характеристики процесса и позволяет сравнивать его текущее и целевое состояния.

При этом показатель имеет ограничения.

Во-первых, показатель не учитывает достоверность информации.

Во-вторых, результат зависит от правил классификации информационных операций.

В-третьих, ручная операция не всегда является недостатком, поскольку может быть необходима для контроля качества или безопасности.

Поэтому I_{inf} целесообразно использовать вместе с показателями времени, трудоёмкости, качества и стоимости процесса.

Ещё одним ограничением исследования является использование модельного сценария. Для полноценной эмпирической проверки необходимы данные реального предприятия: журналы событий, фактическое время выполнения операций, сведения о количестве ошибок и результаты работы процесса до и после внедрения изменений.

Следовательно, следующим этапом исследования должна стать апробация показателя на реальных бизнес-процессах различных типов.

Заключение

В работе рассмотрена проблема реинжиниринга бизнес-процессов предприятия в условиях цифровой трансформации. Показано, что внедрение информационной системы без

предварительного анализа существующей организации работы не гарантирует повышения эффективности процесса.

Предложен подход, включающий определение границ процесса, построение модели AS-IS, анализ информационных потоков, выявление информационных разрывов, определение возможностей цифровизации, формирование модели TO-BE и количественную оценку результата.

В качестве дополнительного инструмента оценки предложен показатель информационной связанности:

$$\mathrm{I}_{in_\mathrm{f}} = 1 - \frac{\mathrm{N}_r + N_m}{\mathrm{N}_\mathrm{i}}.$$

Показатель позволяет оценить изменение количества повторных вводов и ручных передач значимой информации при переходе от текущей модели процесса к целевой.

Применение подхода продемонстрировано на модельном процессе обработки заявки на закупку материальных ресурсов. В расчётном сценарии продолжительность обработки заявки сокращается с 2,5 до 0,8 часа, количество ручных операций – с 9 до 4, а количество повторных вводов – с 4 до 1. Показатель информационной связанности увеличивается с 0,417 до 0,750.

Полученные значения являются модельными и используются исключительно для демонстрации методики. Они не характеризуют результаты конкретного предприятия.

Основной вывод исследования состоит в том, что цифровизация бизнес-процесса должна начинаться с определения целевой организации работы, а не с выбора программного продукта. Информационная система в этом случае рассматривается как инструмент реализации целевого процесса.

Практическая значимость предложенного подхода заключается в возможности его использования при обследовании предприятий, подготовке требований к информационным системам, выборе вариантов реинжиниринга и оценке проектов цифровой трансформации.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проверка предложенного показателя на фактических данных предприятий, а также его использование совместно с методами process mining и средствами мониторинга бизнес-процессов.

Список литературы

1. Dumas M., La Rosa M., Mendling J., Reijers H. A. Fundamentals of Business Process Management. 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer, 2018. 527 p. DOI: 10.1007/978-3-662-56509-4.

2. Verhoef P. C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J. Q., Fabian N., Haenlein M. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda // Journal of Business Research. 2021. Vol. 122. P. 889–901. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.09.022.

3. Mendling J., Reijers H. A., van der Aalst W. M. P. Seven process modeling guidelines // Information and Software Technology. 2010. Vol. 52, № 2. P. 127–136. DOI: 10.1016/j.infsof.2009.08.004.

4. van der Aalst W. M. P. Process Mining: Data Science in Action. 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer, 2016. 467 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4.

5. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York: HarperBusiness, 1993. 223 p.

6. Davenport T. H. Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology. Boston: Harvard Business School Press, 1993. 337 p.

7. Rosemann M., vom Brocke J. The six core elements of business process management // Handbook on Business Process Management 1. Berlin; Heidelberg: Springer, 2015. P. 105–122. DOI: 10.1007/978-3-642-45100-3_5.

8. Van der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey // ISRN Software Engineering. 2013. Vol. 2013. Article ID 507984. P. 1–37. DOI: 10.1155/2013/507984.

9. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda // Journal of Strategic Information Systems. 2019. Vol. 28, № 2. P. 118–144. DOI: 10.1016/j.jsis.2019.01.003.
10. Trkman P. The critical success factors of business process management // International Journal of Information Management. 2010. Vol. 30, № 2. P. 125–134. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2009.07.003.

УДК 004.9:005.33

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Еремеев М.С., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-1200-4476

THE APPROACH TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF ENTERPRISE BUSINESS PROCESS DIGITALIZATION BASED ON THE INTEGRAL INDICATORS

Eremeev M.S., Master's student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-1200-4476

Аннотация

Цифровизация бизнес-процессов предприятия сопровождается внедрением информационных систем, электронного документооборота, средств автоматизации и аналитических инструментов. Однако наличие цифрового решения само по себе не позволяет определить, насколько изменился процесс и был ли достигнут ожидаемый эффект. В статье предлагается подход к оценке эффективности цифровизации бизнес-процессов на основе интегральных показателей. В качестве основных составляющих оценки рассматриваются временная, трудовая, информационная и качественная характеристики процесса. Для их объединения предложен интегральный показатель эффективности цифровизации, рассчитываемый с учётом нормированных частных показателей и их весовых коэффициентов. Представлена последовательность применения методики: фиксация исходного состояния, определение целевых показателей, расчёт частных индексов и получение интегральной оценки. Работоспособность подхода продемонстрирована на модельном процессе обработки заявки на закупку. Расчёт показывает возможность получения единой количественной оценки при одновременном изменении нескольких характеристик процесса. Предложенный подход может использоваться при сравнении вариантов цифровизации, оценке результатов внедрения информационных систем и подготовке управленческих решений.

Ключевые слова: цифровизация, бизнес-процесс, цифровая трансформация, эффективность, интегральный показатель, информационная система, автоматизация, BPM, процессное управление, оценка эффективности

Abstract

The digitalization of enterprise business processes involves the implementation of information systems, electronic document management, automation tools, and analytical technologies. However, the presence of a digital solution alone does not show how significantly a process has changed or whether the expected effect has been achieved. This paper proposes an approach to assessing the effectiveness of business process digitalization using integral indicators. The assessment considers time, labor, information, and quality characteristics of a process. An integral digitalization effectiveness

indicator is proposed based on normalized partial indicators and weighting coefficients. The paper presents a sequence for applying the methodology, including recording the initial state, defining target indicators, calculating partial indices, and obtaining an integral assessment. The approach is demonstrated using a model process for processing a purchase request. The calculation shows how a single quantitative assessment can be obtained when several process characteristics change simultaneously. The proposed approach can be used to compare digitalization alternatives, evaluate information system implementation results, and support management decisions.

Keywords: digitalization, business process, digital transformation, efficiency, integral indicator, information system, automation, BPM, process management, performance assessment

Введение

Цифровизация стала одним из основных направлений развития современных предприятий. Организации переводят документы в электронную форму, внедряют корпоративные информационные системы, автоматизируют согласования, интегрируют базы данных и используют аналитические инструменты. При этом после завершения проекта возникает вполне практический вопрос: как определить, действительно ли бизнес-процесс стал эффективнее?

Ответ не всегда очевиден. Например, после внедрения новой системы время обработки заявки может уменьшиться, но количество действий сотрудника останется прежним. В другом случае трудозатраты снизятся, однако возрастёт количество ошибок из-за некорректной настройки автоматических операций. Возможна и обратная ситуация: отдельный показатель ухудшится, но общая эффективность процесса вырастет.

Таким образом, оценка цифровизации только по одному показателю может привести к неверному выводу.

Проблема связана с тем, что бизнес-процесс представляет собой систему взаимосвязанных действий. Его результат определяется одновременно продолжительностью, трудозатратами, качеством информации, количеством ошибок и другими характеристиками. Процессный подход предполагает рассмотрение деятельности организации как совокупности взаимосвязанных процессов, которые необходимо не только моделировать, но и постоянно анализировать и совершенствовать [1].

При цифровой трансформации эта задача становится ещё более актуальной. Цифровая трансформация затрагивает процессы, организационные структуры и способы создания ценности, поэтому её результат нельзя свести исключительно к факту внедрения программного продукта [2, 3].

Цель исследования – разработать подход к комплексной оценке эффективности цифровизации бизнес-процессов предприятия на основе интегральных показателей.

Для достижения цели необходимо:

– определить основные характеристики, по которым целесообразно оценивать результат цифровизации;

– сформировать частные показатели эффективности;

– предложить методику их нормирования и объединения;

– продемонстрировать методику на модельном бизнес-процессе;

– определить возможности и ограничения предложенного подхода.

Объект исследования – бизнес-процессы предприятия.

Предмет исследования – методы оценки эффективности цифровизации бизнес-процессов.

В работе применяются процессный и системный подходы, сравнительный анализ, нормирование показателей и интегральная оценка.

1. Проблема комплексной оценки цифровизации

На практике эффективность цифрового проекта часто оценивается через отдельные показатели: сокращение времени, снижение затрат или уменьшение количества ручных операций. Каждый из них действительно важен, однако ни один не отражает процесс полностью.

Рассмотрим простой пример. Предприятие внедрило систему электронного согласования. Среднее время прохождения документа уменьшилось с 10 до 6 часов. Формально результат положительный. Но если одновременно количество возвратов документов увеличилось с 2 до 7%, только по времени сделать вывод о повышении эффективности нельзя.

Поэтому оценку целесообразно строить по нескольким направлениям.

В рамках данной работы предлагается использовать четыре группы характеристик:

– временную – насколько изменилось время выполнения процесса;

– трудовую – насколько изменилось количество ручных действий и трудозатраты;

– информационную – насколько сократились повторный ввод, ручные передачи и дублирование данных;

– качественную – насколько изменились количество ошибок, возвратов и других негативных результатов.

Такое представление позволяет оценивать цифровизацию не как отдельное техническое мероприятие, а как изменение процесса в целом.

Важным является и различие между автоматизацией и улучшением результата. Автоматизация операции не гарантирует повышения эффективности, если сама операция является избыточной. Поэтому до расчёта эффекта необходимо определить границы процесса и сравнить его состояния AS-IS и TO-BE.

Для анализа процессов могут применяться методы BPM и process mining. Последний позволяет использовать фактические журналы событий информационных систем для восстановления и анализа реального поведения процессов [4]. Это особенно полезно при наличии большого количества операций и участников.

2. Формирование системы показателей

Для получения комплексной оценки необходимо привести различные показатели к сопоставимому виду.

Пусть имеются следующие показатели:

T – время выполнения процесса;

L – трудозатраты;

I – количество информационных разрывов;

Q – количество ошибок или возвратов.

Для каждого показателя рассчитывается индекс изменения.

Если уменьшение показателя является положительным результатом, используется выражение:

$$K_i = \frac{X_{i,AS-IS}}{X_{i,TO-BE}}.$$

Однако такое отношение неудобно при непосредственном объединении показателей. Поэтому для оценки именно изменения предлагается использовать нормированное значение:

$$P_i = \frac{X_{i,AS-IS} - X_{i,TO-BE}}{X_{i,AS-IS}}. \quad (1)$$

При положительной динамике P_i принимает значение от 0 до 1. Например, сокращение времени на 20 % даёт $P_i = 0{,}20$.

Для показателя, рост которого является положительным результатом, направление расчёта меняется:

$$P_i = \frac{X_{i,TO-BE} - X_{i,AS-IS}}{X_{i,AS-IS}}. \quad (2)$$

Полученные частные показатели объединяются в интегральный показатель:

$$E_{int} = \sum_{i=1}^{n} \omega_i P_i \,, \tag{3}$$

где ω_i – весовой коэффициент показателя;

$$\sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1 \,.$$

Таким образом, итоговая оценка зависит не только от величины изменений, но и от значимости соответствующего показателя для конкретного процесса.

Например, для процесса закупок время и трудозатраты могут иметь больший вес, чем количество информационных передач. В производственном процессе, напротив, качество и количество ошибок могут быть более значимыми.

Это позволяет отказаться от предположения, что все характеристики процесса одинаково важны.

3. Методика расчёта интегрального показателя

Предлагаемая методика включает пять основных этапов.

Первый этап – описание исходного процесса.

Фиксируется состояние AS-IS: продолжительность, количество операций, трудозатраты, информационные передачи, ошибки и другие параметры.

Второй этап – определение целевого состояния.

Формируется модель TO-BE, отражающая предполагаемый результат цифровизации.

Третий этап – расчёт частных показателей.

Для каждого параметра определяется относительное изменение по формулам (1) и (2).

Четвёртый этап – определение весов.

Весовые коэффициенты могут задаваться экспертно либо определяться на основе приоритетов предприятия.

Пятый этап – расчёт интегрального показателя.

Частные результаты объединяются по формуле (3).

Для интерпретации можно использовать условную шкалу:

Значение E_{int}	**Интерпретация**
0-0,20	низкий эффект
0,20-0,40	умеренный эффект
0,40-0,60	заметный эффект
0,60-0,80	высокий эффект
0,80-1,00	очень высокий эффект

Данная шкала является инструментом интерпретации, а не универсальным нормативом. Для конкретного предприятия границы могут быть скорректированы с учётом особенностей процесса.

Главное преимущество такой методики состоит в возможности сравнивать разные варианты цифровизации. Например, предприятие может рассмотреть два варианта автоматизации и определить, какой из них обеспечивает больший совокупный эффект.

4. Модельный пример

Рассмотрим процесс обработки заявки на закупку материальных ресурсов.

До цифровизации сотрудник формирует заявку, передаёт её руководителю, получает согласование, передаёт информацию специалисту по закупкам, после чего данные повторно вводятся в корпоративную систему.

Предположим, что характеристики процесса имеют следующие значения (табл. 1):

Таблица 1

Изменение характеристик бизнес-процесса

Показатель	AS-IS	TO-BE	Изменение
Время выполнения, ч	2,5	0,8	-68,0%
Трудозатраты, условные ед.	9	4	-55,6%
Повторный ввод данных, ед.	4	1	-75,0%
Ошибки и возвраты, ед.	4	2	-50,0%

Все значения в таблице являются модельными и используются только для демонстрации методики.

Для времени получаем:

$$P_T = \frac{2,5 - 0,8}{2,5} = 0,68.$$

Для трудозатрат:

$$P_L = \frac{9 - 4}{9} = 0,556.$$

Для повторного ввода:

$$P_I = \frac{4 - 1}{4} = 0,75.$$

Для ошибок:

$$P_Q = \frac{4 - 2}{4} = 0,5.$$

Предположим следующие веса:
– время – $\omega_T = 0,3$;
– трудозатраты – $\omega_L = 0,25$;
– информационные показатели – $\omega_I = 0,2$;
– качество – $\omega_Q = 0,25$.
Сумма весов равна единице.
Тогда интегральный показатель составляет:

$$E_{int} = 0,3 \times 0,68 + 0,25 \times 0,556 + 0,2 \times 0,75 + 0,25 \times 0,5. \quad (4)$$

Получаем:

$$E_{int} = 0,621.$$

Таким образом, для рассматриваемого модельного сценария интегральная оценка составляет 0,621, что соответствует условному уровню заметного – близкого к высокому – эффекта по предложенной шкале.

Важно подчеркнуть, что значение 0,621 не означает повышение эффективности предприятия на 62,1%. Это интегральный индекс, объединяющий четыре нормированных изменения с заданными весами.

Именно такое разграничение позволяет избежать распространённой ошибки, когда сложный комплексный результат пытаются выразить одним процентом экономии.

5. Практическое применение подхода

Предложенная методика может использоваться на нескольких этапах цифрового проекта.

На этапе планирования она позволяет сравнивать варианты будущей организации процесса. Например, предприятие может оценить два варианта автоматизации и выбрать тот, который обеспечивает лучший совокупный результат.

На этапе внедрения показатели могут использоваться для контроля достижения целевых значений.

После завершения проекта методика позволяет сравнить фактические показатели с исходными и определить, был ли достигнут запланированный эффект.

Особенно полезно проводить повторную оценку через некоторое время после запуска системы. Первоначальный результат может отличаться от фактического из-за изменения нагрузки, поведения пользователей и структуры процесса.

При наличии журналов событий оценку можно дополнить process mining. В этом случае показатели формируются не только экспертно, но и на основе фактических данных выполнения процесса [4, 5].

Таким образом, интегральный показатель целесообразно рассматривать не как разовый расчёт, а как элемент постоянного мониторинга.

6. Ограничения метода

Предлагаемый подход имеет ряд ограничений.

Во-первых, результат зависит от выбранных показателей. Если важная характеристика процесса не включена в систему оценки, интегральный показатель не сможет её учитывать.

Во-вторых, существенное влияние оказывают весовые коэффициенты. При разных весах один и тот же процесс может получить разные итоговые значения. Поэтому веса необходимо обосновывать исходя из целей предприятия.

В-третьих, снижение количества операций не всегда является положительным результатом. Например, исключение контрольного действия может уменьшить трудозатраты, но увеличить вероятность ошибки. Поэтому показатели необходимо рассматривать во взаимосвязи.

В-четвёртых, модельный расчёт не заменяет экономическое обоснование проекта. Для инвестиционного решения дополнительно необходимо учитывать стоимость внедрения, сопровождения, обучения персонала и интеграции информационных систем.

Следовательно, интегральный показатель является прежде всего инструментом сравнительной процессной оценки, а не самостоятельной заменой финансового анализа.

7. Обсуждение результатов

Главное преимущество предлагаемого подхода состоит в переходе от оценки цифровизации по одному критерию к комплексному представлению результата.

Если предприятие оценивает только сокращение времени, оно может не заметить ухудшение качества. Если оценивается только снижение затрат, остаётся без внимания информационная составляющая. Интегральная модель позволяет объединить несколько характеристик и получить единый показатель, сохраняя при этом возможность анализировать каждую составляющую отдельно.

При этом интегральный показатель не должен скрывать исходные данные. Наоборот, управленческое решение должно приниматься после анализа как итоговой оценки, так и отдельных индексов.

Такой подход соответствует логике процессного управления, при которой эффективность рассматривается через совокупность характеристик процесса, а его совершенствование является непрерывным циклом [1].

Цифровизация в данном случае становится не самоцелью, а инструментом изменения измеримых характеристик деятельности предприятия.

Заключение

В работе предложен подход к оценке эффективности цифровизации бизнес-процессов предприятия на основе интегральных показателей.

В качестве основных составляющих оценки выделены временная, трудовая, информационная и качественная характеристики процесса. Для их сопоставления предложены нормированные частные показатели, а для получения комплексной оценки – интегральный показатель с использованием весовых коэффициентов.

Разработанная последовательность включает фиксацию исходного состояния процесса, формирование целевой модели, расчёт частных показателей, определение их весов и получение итоговой оценки.

На модельном процессе обработки заявки на закупку рассчитано значение интегрального показателя 0,621. Полученный результат демонстрирует возможность объединения нескольких характеристик процесса в единую оценку. При этом он не трактуется как прямой процент повышения эффективности предприятия.

Практическая значимость подхода заключается в возможности использовать его при выборе вариантов цифровизации, контроле результатов внедрения информационных систем и последующем мониторинге бизнес-процессов. Основным условием корректного применения методики является сохранение связи между интегральной оценкой и исходными показателями. Это позволяет не только получить итоговое значение, но и определить, за счёт каких именно изменений сформирован результат.

Перспективным направлением дальнейших исследований является апробация предложенной системы на фактических данных предприятий, автоматическое формирование показателей на основе журналов информационных систем и разработка методов определения весовых коэффициентов на основе статистических данных.

Список литературы

1. Dumas M., La Rosa M., Mendling J., Reijers H. A. Fundamentals of Business Process Management. 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer, 2018. 527 p. DOI: 10.1007/978-3-662-56509-4.

2. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda // Journal of Strategic Information Systems. 2019. Vol. 28, № 2. P. 118–144. DOI: 10.1016/j.jsis.2019.01.003.

3. Verhoef P. C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J. Q., Fabian N., Haenlein M. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda // Journal of Business Research. 2021. Vol. 122. P. 889–901. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.09.022.

4. van der Aalst W. M. P. Process Mining: Data Science in Action. 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer, 2016. 467 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4.

5. van der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey // ISRN Software Engineering. 2013. Vol. 2013. Article ID 507984. P. 1–37. DOI: 10.1155/2013/507984.

6. Mendling J., Reijers H. A., van der Aalst W. M. P. Seven process modeling guidelines // Information and Software Technology. 2010. Vol. 52, № 2. P. 127–136. DOI: 10.1016/j.infsof.2009.08.004.

7. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York: HarperBusiness, 1993. 223 p.

8. Davenport T. H. Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology. Boston: Harvard Business School Press, 1993. 337 p.

9. Trkman P. The critical success factors of business process management // International Journal of Information Management. 2010. Vol. 30, № 2. P. 125–134. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2009.07.003.

10. Rosemann M., vom Brocke J. The six core elements of business process management // Handbook on Business Process Management 1. Berlin; Heidelberg: Springer, 2015. P. 105–122. DOI: 10.1007/978-3-642-45100-3_5.

УДК 004.8

МЕТОДЫ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОТВЕТОВ КАНДИДАТОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ СОБЕСЕДОВАНИИ

Загидуллин З.М., инженер-программист системы документооборота ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0001-1705-6858;
E-mail: Zagidullin_zin@mail.ru

METHODS OF SEMANTIC ANALYSIS OF CANDIDATE RESPONSES IN AUTOMATED TECHNICAL INTERVIEWS

Zagidullin Z.M., Software Engineer, Document Management Systems Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-1705-6858;
E-mail: Zagidullin_zin@mail.ru

Аннотация

В статье исследуются методы семантического анализа свободных текстовых ответов, предназначенные для автоматизированного технического собеседования IT-специалистов. Для устранения недостатка, связанного с отсутствием экспериментальной проверки, сформирован контролируемый русскоязычный корпус из 150 ответов к 15 вопросам по базам данных, операционным системам, сетям, алгоритмам, объектно-ориентированному программированию, контейнеризации и непрерывной интеграции; для каждого вопроса определены эталонный ответ и четыре обязательных смысловых компонента. Сравнивались словесное и символьное представления на основе частоты термов с обратной частотой документа, латентный семантический анализ, проверка покрытия обязательных концептов и предложенный комбинированный метод, дополненный явным обнаружением противоречий и неотрицательной линейной агрегацией признаков. Калибровочная часть включала 50 ответов к пяти вопросам, а независимая тестовая часть – 100 ответов к десяти другим вопросам, что исключало использование ответов на тестовые вопросы при настройке коэффициентов; качество оценивалось по средней абсолютной ошибке, среднеквадратической ошибке и ранговой корреляции Спирмена. На тестовой выборке комбинированный метод обеспечил среднюю абсолютную ошибку 0,634 балла при 95%-м доверительном интервале 0,564–0,695, среднеквадратическую ошибку 0,951 и корреляцию Спирмена 0,860, тогда как лучший одиночный базовый метод показал среднюю абсолютную ошибку 1,321 балла. Снижение средней абсолютной ошибки составило 52,0%, а попарное сравнение ошибок по вопросам критерием Уилкоксона подтвердило статистическую значимость различий при p=0,00098; при бинаризации решения «достаточный/недостаточный ответ» достигнут F1-показатель 0,889. Эксперимент показывает, что сочетание поверхностного сходства, покрытия смысловых компонентов и отдельной проверки противоречий устойчивее одиночных метрик, однако результаты рассматриваются как пилотные, поскольку корпус является контролируемым синтетическим набором и не включает ответы с программным кодом и оценку токсичности. Полученная схема может использоваться как

воспроизводимое ядро модуля оценки знаний, тогда как коммуникативная модерация и проверка программного кода должны выполняться отдельными подсистемами.

Ключевые слова: автоматизированное собеседование, семантический анализ, оценка ответов, IT-специалисты, TF-IDF, латентный семантический анализ, концепты, противоречия, статистическая оценка, объяснимость

Abstract

The article investigates semantic analysis methods for free-form textual responses in automated technical interviews for IT specialists. To address the lack of experimental validation, a controlled Russian-language corpus of 150 responses to 15 questions was constructed, covering databases, operating systems, computer networks, algorithms, object-oriented programming, containerization, and continuous integration; each question was supplied with one reference answer and four mandatory semantic components. Word-level and character-level term frequency–inverse document frequency representations, latent semantic analysis, mandatory-concept coverage, and a proposed combined method with explicit contradiction detection and non-negative linear feature aggregation were compared. The calibration subset contained 50 responses to five questions, while the independent test subset contained 100 responses to ten different questions, so no candidate response from the test questions was used to fit aggregation coefficients; performance was measured using mean absolute error, root mean square error, and Spearman rank correlation. On the test set, the combined method achieved a mean absolute error of 0.634 points with a 95% confidence interval of 0.564–0.695, a root mean square error of 0.951, and a Spearman correlation of 0.860, whereas the strongest single baseline reached a mean absolute error of 1.321 points. The reduction in mean absolute error was 52.0%, and a paired Wilcoxon signed-rank test over question-level errors confirmed statistical significance at p=0.00098; after converting the score into a binary «sufficient/insufficient answer» decision, the F1 score reached 0.889. The experiment indicates that combining similarity, semantic-component coverage, and contradiction checking is more robust than relying on one similarity measure, although the finding remains pilot because the corpus is synthetic and excludes source-code answers and toxicity assessment. The workflow can serve as a reproducible knowledge-assessment core, while moderation and program-code verification remain separate modules.

Keywords: automated interview, semantic analysis, answer assessment, IT specialists, TF-IDF, latent semantic analysis, concept coverage, contradiction detection, statistical evaluation, explainability

Введение

Автоматизация технического интервью связана с задачей автоматической оценки коротких открытых ответов (Automatic Short Answer Grading, ASAG). В отличие от тестов с фиксированным выбором, кандидат может сформулировать корректный ответ множеством способов, изменить порядок аргументов, использовать профессиональные сокращения или дать частично правильное объяснение. В компьютерных науках задача оценки коротких ответов исследуется на протяжении многих лет; в частности, корпус Mohler содержит вопросы и ответы по дисциплинам Computer Science и оценки двух проверяющих [1]. Современные подходы дополняют классические меры сходства контекстными языковыми представлениями и специализированным дообучением [2].

Появление модели Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) позволило учитывать контекст употребления слов [3], а Sentence-BERT упростил получение векторных представлений предложений и вычисление косинусного семантического сходства [4]. Для автоматической оценки текстов также применяются BERTScore [5] и BLEURT [6]. Однако в техническом собеседовании одно числовое сходство с эталоном не решает задачу полностью: ответ может содержать все ключевые слова и одновременно включать неверное причинно-следственное утверждение либо отрицание критического факта.

Дополнительная проблема состоит в переносимости метода между вопросами. Современный объединенный бенчмарк ASAG2024 показывает, что качество автоматического оценивания существенно зависит от набора данных и предметной области, а обобщение на новые вопросы остается отдельной исследовательской задачей [7]. Поэтому для автоматизированного интервью важно проверять метод не только на перефразировании одного эталона, но и на вопросах разных тематических категорий.

Цель работы – экспериментально сравнить несколько методов семантического сопоставления ответов и оценить предложенный комбинированный способ, в котором сходство текста дополняется проверкой обязательных смысловых компонентов и явным признаком противоречия. Научная новизна работы заключается в формировании контролируемой русскоязычной тестовой выборки для IT-вопросов, разделении данных по вопросам на калибровочную и независимую тестовую части, а также в статистическом сопоставлении одиночных метрик с интерпретируемой комбинированной моделью.

Материалы и методы

Экспериментальная выборка. Для апробации сформирован контролируемый корпус из 15 открытых технических вопросов. Тематика охватывала базы данных, операционные системы, сети, структуры данных, Docker, CI/CD, объектно-ориентированное программирование, HTTP и алгоритмы. Для каждого вопроса заранее задавались эталонный ответ и четыре обязательных смысловых компонента. Синтетические ответы применяются и в современных исследованиях ASAG, однако ограничения такого дизайна должны фиксироваться явно [8].

Для каждого вопроса создавалось десять типов ответа с заранее определенной эталонной оценкой по шкале от 0 до 5: полный правильный ответ, терминологическое перефразирование, свободное перефразирование, краткий ответ с тремя компонентами, частичный ответ с двумя компонентами, смешанный ответ, расплывчатый ответ с одним компонентом, ответ с явным противоречием, «набивка» правильными терминами при ошибочном выводе и нерелевантный ответ. Эталонная оценка задавалась до вычисления автоматических признаков и определялась протоколом формирования варианта. Таким образом, каждая категория содержала 15 ответов, а общий объем составил 150 наблюдений. Состав корпуса представлен в таблице 1.

Таблица 1

Структура контролируемого корпуса ответов

Тип ответа	Эталонный балл	Интерпретация	Количество
Полный правильный	5,0	Содержит все четыре компонента	15
Терминологическое перефразирование	5,0	Тот же смысл с иными формулировками	15
Свободное перефразирование	4,5	Корректная мысль без словарных совпадений	15
Краткий	4,0	Три из четырех компонентов	15
Частичный	2,5	Два из четырех компонентов	15
Смешанный	2,0	Один релевантный компонент + нерелевантный фрагмент	15
Расплывчатый	1,5	Один компонент без достаточного раскрытия	15

Окончание табл. 1

Тип ответа	Эталонный балл	Интерпретация	Количество
Противоречивый	1,0	Термины присутствуют, но есть критическая ошибка	15
«Набивка» терминами	1,0	Ключевые слова при ошибочном выводе	15
Нерелевантный	0,0	Ответ относится к другой теме	15

Критерии включения: ответ на русском языке, открытая текстовая форма, длина от одного до четырех предложений и возможность оценивания по заданным смысловым компонентам. Из исследования исключались пустые ответы, ответы только в форме программного кода, задачи с выбором варианта и коммуникативная токсичность. Последняя рассматривается как отдельная задача модерации и не включалась в расчет профессиональной оценки, чтобы не смешивать уровень знаний и стиль общения кандидата.

Для предотвращения утечки по вопросу пять вопросов и 50 соответствующих ответов использовались только для калибровки, а оставшиеся десять вопросов и 100 ответов – только для итогового тестирования. Разбиение выполнялось по вопросам, а не случайно по отдельным ответам. Эталонные ответы тестовых вопросов были доступны алгоритму, поскольку в реальной системе эталон является частью конфигурации интервью; сами тестовые ответы и их оценки при подборе коэффициентов не использовались.

Сравниваемые методы. В качестве первого базового метода использовалась модель «частота терма – обратная частота документа» (Term Frequency–Inverse Document Frequency, TF-IDF) со словесными униграммами и биграммами и косинусным сходством ответа с эталоном. Второй метод использовал символьный TF-IDF для 3–5-грамм, что уменьшает чувствительность к словоизменению и небольшим орфографическим отклонениям. Третий метод – латентный семантический анализ (Latent Semantic Analysis, LSA), в котором словесная TF-IDF-матрица проецировалась в пространство из 40 латентных компонентов; идея LSA основана на выделении скрытой структуры совместной встречаемости терминов [9].

Четвертый метод оценивал покрытие обязательных концептов. Для каждого из четырех смысловых компонентов задавался небольшой словарь допустимых формулировок и синонимических выражений. Значение признака определялось как доля обнаруженных компонентов. Дополнительно использовался бинарный признак критического противоречия, задаваемый для каждого вопроса набором заранее известных ошибочных утверждений. Признак необходим, поскольку высокая лексическая близость не различает, например, утверждение и его отрицание.

Комбинированный метод использовал символьное сходство, LSA-сходство, покрытие концептов после обнуления при обнаруженном противоречии и признак отсутствия противоречия. Коэффициенты агрегирования определялись на калибровочной части методом линейной регрессии с ограничением коэффициентов неотрицательными, а результат ограничивался диапазоном 0–5. Итоговая схема процесса представлена на рисунке 1. В эксперименте использована детерминированная схема; оценивание большой языковой моделью (Large Language Model, LLM) оставлено для отдельной валидации, поскольку LLM-оценщики могут расходиться с человеческими оценками [10].

Статистическая обработка. Для непрерывной оценки использовались средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE), корень из среднеквадратической ошибки (Root Mean Square Error, RMSE) и ранговая корреляция Спирмена между эталонным и прогнозным баллами. Для MAE и коэффициента Спирмена строились 95%-е доверительные интервалы методом

кластерного бутстрэпа по вопросам с 1000 повторными выборками. Сравнение комбинированного метода с лучшим одиночным базовым методом выполнялось по MAE каждого из десяти тестовых вопросов критерием знаковых рангов Уилкоксона для связанных выборок. Для практической бинарной интерпретации ответ считался достаточным при эталонном балле не ниже 4; для прогноза использовался порог 3,5.



Рис. 1. Схема комбинированной семантической оценки ответа

Результаты

На калибровочной части были определены коэффициенты комбинированной модели. В итоговой регрессии ненулевой вклад получили символьное сходство, покрытие концептов после проверки противоречия и признак отсутствия противоречия; коэффициент LSA после учета остальных признаков оказался равным нулю, что свидетельствует о частичной избыточности этого сигнала в выбранной конфигурации. Основные параметры экспериментальной процедуры приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные параметры экспериментальной процедуры

Параметр	Значение
Объем корпуса	150 ответов; 15 вопросов; 10 типов ответа
Калибровка / тест	50 / 100 ответов; разделение по вопросам
Словесный TF-IDF	униграммы и биграммы; косинусное сходство
Символьный TF-IDF	3–5-граммы; косинусное сходство
LSA	40 латентных компонентов
Концепты	4 обязательных компонента на вопрос
Агрегация	линейная регрессия с неотрицательными коэффициентами
Бутстрэп	1000 повторных выборок по вопросам

Результаты на независимой тестовой части приведены в таблице 3. Одиночные метрики показывают заметную ошибку: MAE находится в диапазоне от 1,321 до 1,583 балла. Наименьшую MAE среди них дал символьный TF-IDF – 1,321 балла. Комбинированный метод снизил MAE до 0,634 балла, то есть на 52,0% относительно лучшего одиночного базового метода. Одновременно RMSE уменьшилась до 0,951, а корреляция Спирмена выросла до 0,860.

Таблица 3

Сравнение методов на тестовой выборке (100 ответов)

Метод	MAE	95% ДИ MAE	RMSE	ρ Спирмена
Словесный TF-IDF	1,350	1,296–1,397	1,607	0,293
Символьный TF-IDF	1,321	1,290–1,347	1,576	0,289
LSA	1,583	1,531–1,637	1,976	0,404
Покрытие концептов	1,482	1,456–1,507	1,670	0,254
Комбинированный метод	0,634	0,564–0,695	0,951	0,860

Кластерный 95%-й доверительный интервал для MAE комбинированного метода составил 0,564–0,695, а для коэффициента Спирмена – 0,829–0,893. Для символьного TF-IDF соответствующий интервал MAE составил 1,290–1,347. Попарное сравнение MAE по десяти тестовым вопросам показало преимущество комбинированного метода для каждого вопроса; критерий Уилкоксона дал p=0,00098. Следовательно, различие не объясняется одним или двумя удачно подобранными вопросами.

В прикладном режиме при разделении ответов на «достаточные» и «недостаточные» порог 3,5 для прогнозной оценки обеспечил точность 0,920, precision 1,000, recall 0,800 и F1=0,889. Нулевая доля ложноположительных решений в данном контролируемом тесте связана прежде всего с отдельным признаком противоречия: ответы, содержащие все требуемые термины, но завершающиеся ошибочным утверждением, не получали высокий балл только за счет лексического сходства.

Сравнение средней абсолютной ошибки методов показано на рисунке 2. График подтверждает вывод таблицы 3: комбинированная модель имеет существенно меньшую ошибку, а ее доверительный интервал не пересекается с интервалом лучшего одиночного базового метода.

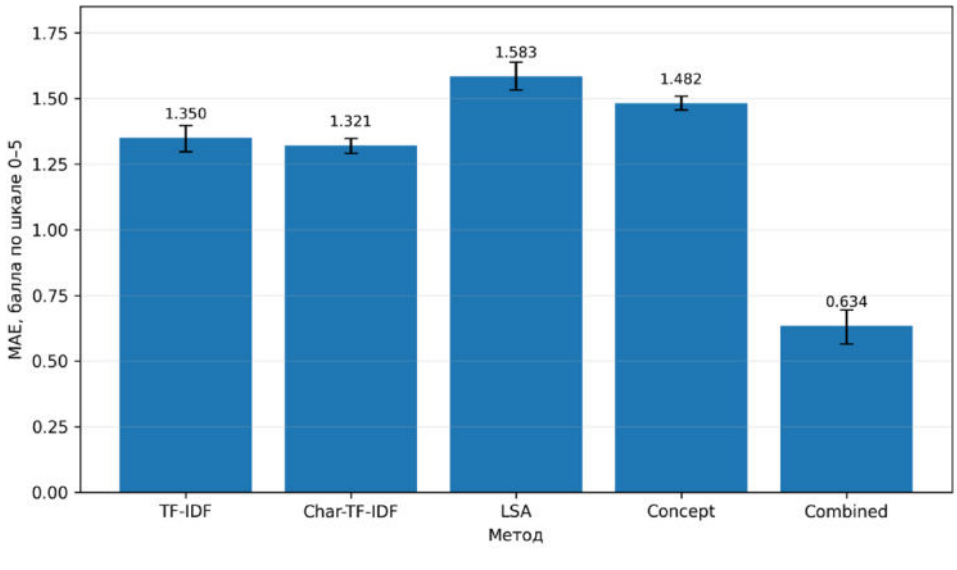


Рис. 2. Средняя абсолютная ошибка методов и 95%-е доверительные интервалы

Обсуждение

Полученные результаты показывают, почему одной метрики семантического или лексического сходства недостаточно для технического интервью. Полный эталонный ответ обеспечивает высокое сходство, однако искусственно созданные противоречивые ответы также сохраняют большую часть терминов. С другой стороны, свободное перефразирование может иметь низкое словесное совпадение при высокой содержательной корректности. Комбинированная схема уменьшает обе ошибки за счет разделения сигналов: сходство отвечает за тематическую близость, концепты – за полноту, а специальный признак – за критическое противоречие.

Анализ по типам ответов выявил и ограничение предложенного метода. Наиболее сложной категорией оказалось свободное перефразирование, где кандидат выражает правильную мысль формулировками, отсутствующими в словаре концептов. Средняя ошибка для этой категории заметно выше, чем для полного или шаблонно перефразированного ответа. Это означает, что в промышленной реализации словарь концептов следует дополнять контекстными векторными моделями, например Sentence-BERT, либо обучаемым классификатором семантического следования. Однако включение такого компонента должно сопровождаться новой экспериментальной проверкой, а не только описательной рекомендацией.

Главное ограничение связано с природой корпуса: синтетический набор не отражает опечатки, смешение языков, неожиданные примеры и длинные рассуждения реальных кандидатов. Поэтому результаты нельзя считать готовой оценкой качества системы в реальных интервью. Следующий этап – корпус ответов IT-специалистов с независимым оцениванием минимум двумя экспертами и расчетом межэкспертного согласия.

Токсичность и грубость исключены из профессиональной оценки, чтобы не смешивать знания и стиль общения. В продукте модерация должна выдавать отдельный флаг, а ответы с программным кодом – проходить синтаксическую, статическую или тестовую проверку.

Практическая ценность схемы состоит в объяснимости: для вопроса сохраняются ответ, показатели сходства, обнаруженные концепты, признак противоречия и итоговый балл. Это позволяет проверить основание решения и передать спорный случай человеку.

Выводы

Проведено экспериментальное сравнение четырех одиночных методов и одного комбинированного способа семантической оценки на контролируемом корпусе из 150 русскоязычных ответов к 15 IT-вопросам. Разбиение по вопросам позволило оценить переносимость настроенных коэффициентов на десять новых вопросов.

Комбинированная модель, объединяющая символьное сходство, покрытие обязательных концептов и отдельную проверку противоречий, показала MAE 0,634 балла, RMSE 0,951 и корреляцию Спирмена 0,860. По сравнению с лучшим одиночным методом MAE уменьшилась на 52,0%, а различие ошибок по вопросам статистически значимо по критерию Уилкоксона при $p=0{,}00098$. Для бинарного решения о достаточности ответа получен F1-показатель 0,889.

Таким образом, численные результаты подтверждают целесообразность многокомпонентной оценки вместо прямого преобразования единственного коэффициента сходства в итоговый балл. Вместе с тем вывод ограничен синтетической выборкой. Для следующего этапа необходим реальный корпус технических интервью, независимая экспертная разметка, проверка на разных уровнях квалификации и отдельные эксперименты для LLM-оценивания, программного кода и коммуникативной модерации.

Список литературы

1. Mohler M., Bunescu R., Mihalcea R. Learning to Grade Short Answer Questions using Semantic Similarity Measures and Dependency Graph Alignments // Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Portland : Association for Computational Linguistics, 2011. P. 752–762.

2. Sung C., Dhamecha T. I., Saha S., Ma T., Reddy V., Arora R. Pre-Training BERT on Domain Resources for Short Answer Grading // Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods

in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing. Hong Kong : Association for Computational Linguistics, 2019. P. 6071–6075. DOI: 10.18653/v1/D19-1628.

3. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Minneapolis : Association for Computational Linguistics, 2019. P. 4171–4186. DOI: 10.18653/v1/N19-1423.

4. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing. Hong Kong : Association for Computational Linguistics, 2019. P. 3982–3992. DOI: 10.18653/v1/D19-1410.

5. Zhang T., Kishore V., Wu F., Weinberger K. Q., Artzi Y. BERTScore: Evaluating Text Generation with BERT // International Conference on Learning Representations. 2020.

6. Sellam T., Das D., Parikh A. P. BLEURT: Learning Robust Metrics for Text Generation // Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Online : Association for Computational Linguistics, 2020. P. 7881–7892. DOI: 10.18653/v1/2020.acl-main.704.

7. Meyer G., Breuer P., Fürst J. ASAG2024: A Combined Benchmark for Short Answer Grading // Proceedings of the 2024 ACM Virtual Global Computing Education Conference V. 2. New York : ACM, 2024. DOI: 10.1145/3649409.3691083.

8. Saur L., Toth A. Grading at scale: privacy-preserving automated short answer grading with small language models on CPUs // Frontiers in Computer Science. 2026. Vol. 8. DOI: 10.3389/fcomp.2026.1829089.

9. Deerwester S., Dumais S. T., Furnas G. W., Landauer T. K., Harshman R. Indexing by latent semantic analysis // Journal of the American Society for Information Science. 1990. Vol. 41, № 6. P. 391–407.

10. Liu Y., Iter D., Xu Y., Wang S., Xu R., Zhu C. G-Eval: NLG Evaluation using GPT-4 with Better Human Alignment // Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Singapore : Association for Computational Linguistics, 2023. P. 2511–2522. DOI: 10.18653/v1/2023.emnlp-main.153.

УДК 338

РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИИ КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Зарипова А.Р., студент;
Игнатьева О.А., к.э.н., доцент кафедры экономической теории и эконометрики;
Соколов А.Ю., д.э.н., доцент, профессор кафедры учета, анализа и аудита ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

REENGINEERING BUSINESS PROCESS AS A TOOL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT UNDER MACROECONOMIC ENVIRONMENT CONDITIONS

Zaripova A.R., student;
Ignatieva O.A., Candidate of Economic Sciences (PhD in Economics), Associate Professor of the Department of Economic Theory and Econometrics;
Sokolov A.Y., Doctor of Economic Sciences (Grand PhD in Economics), Associate Professor, Professor of the Department of Accounting, Analysis and Audit, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Аннотация

В условиях макроэкономической нестабильности, характеризующейся высокими ключевыми ставками, волатильностью валютных курсов и разрывом логистических цепочек, традиционные методы операционной оптимизации перестали обеспечивать устойчивое развитие компаний. Скорость изменений внешней среды превышает адаптационные возможности иерархических структур, что требует радикальных, а не эволюционных решений. В данной статье рассматривается реинжиниринг бизнес-процессов как инструмент радикального перепроектирования операционной деятельности предприятия. В отличие от непрерывных улучшений, реинжиниринг предполагает фундаментальное переосмысление сквозных процессов, полный отказ от избыточных согласований и внедрение параллельных операций для разрыва функциональных границ внутри организации. Авторами предлагается семишаговый алгоритм жесткого реинжиниринга, адаптированный к кризисным реалиям. Данный алгоритм включает в себя следующие элементы: «фотографию хаоса» как фиксацию реальных потерь, расчет скрытой стоимости времени выполнения процесса, внедрение принципа «магистрали» для стандартизации критического пути, создание «красной команды» для стресс-тестирования новых процессов, а также пост-проектный мониторинг по отклонениям. Особое внимание уделяется сокращению цикла конверсии денежных средств как ключевому показателю устойчивости в условиях дорогого капитала. Снижение производственного цикла на тридцать процентов эквивалентно получению беспроцентного оборотного кредита. В статье представлены практические кейсы из дистрибуции и машиностроения, демонстрирующие сокращение операционных затрат на пятнадцать-двадцать процентов. Приводится количественная оценка экономического эффекта на примере компании с оборотом один миллиард рублей в год, где внедрение алгоритма позволило высвободить более пятидесяти миллионов рублей оборотных средств без привлечения дополнительного финансирования.

Ключевые слова: реинжиниринг бизнес-процессов, устойчивое развитие, макроэкономическая среда, ключевая ставка, цикл конверсии денежных средств, управление ликвидностью, антикризисный менеджмент, сквозные процессы, цифровая маршрутизация решений

Abstract

In the context of macroeconomic instability characterized by high key interest rates, exchange rate volatility and supply chain disruptions, traditional methods of operational optimization no longer ensure the sustainable development of companies. This article examines business process reengineering as a tool for radically redesigning the operational activities of an enterprise. Unlike evolutionary improvements, reengineering involves a fundamental rethinking of end-to-end processes, the elimination of excessive approvals and the introduction of parallel operations. The authors propose a seven-step algorithm of hard reengineering, including a «photograph of chaos», calculation of the hidden cost of time, the highway principle, the creation of a «red team» and post-project monitoring of deviations. Special attention is paid to reducing the cash conversion cycle as a key indicator of sustainability in the context of expensive capital. The article also presents practical cases from distribution and mechanical engineering, as well as a quantitative assessment of the economic effect on the example of a company with an annual turnover of 1 billion rubles.

Keywords: business process reengineering, sustainable development, macroeconomic environment, key interest rate, cash conversion cycle, liquidity management, crisis management, end-to-end processes, digital routing of decisions

Реинжиниринг бизнес-процессов компании сегодня перестал быть разовой антикризисной мерой и превратился в стратегический инструмент устойчивого развития, особенно в условиях турбулентной макроэкономической среды. Нестабильность курсов валют, колебания спроса, санкционные ограничения и технологические разрывы требуют от организаций не просто оптимизации текущих операций, а коренной перестройки самих принципов рабо-

ты. Классическое улучшение процессов (BPR – Business Process Reengineering) в понимании Хаммера и Чампи предполагает отказ от устаревших допущений и радикальное переосмысление того, как создается ценность для клиента. Именно такой подход позволяет компании не просто выживать, но и наращивать свой потенциал в долгосрочной перспективе, адаптируя внутреннюю архитектуру к внешним шокам без потери эффективности [1].

В макроэкономической среде, характеризующейся высокой неопределенностью, традиционные методы бюджетирования и линейного планирования дают сбой. Компании сталкиваются с феноменом «новой нормальности», где прошлые данные перестают быть надежным прогнозом. Согласно исследованию международной консалтинговой компании McKinsey, проведенному в 2024 г. среди 1500 предприятий в 12 странах, включая Россию, 67% компаний признали, что их текущие бизнес-процессы не способны адекватно реагировать на резкие изменения ключевых макроэкономических показателей, таких как ключевая ставка или валютный курс [3]. При этом только 23% опрошенных компаний приступили к полноценному реинжинирингу, остальные ограничиваются точечными сокращениями издержек. Реинжиниринг в этих условиях действует как механизм повышения адаптивности. Он позволяет разорвать жесткие связи между функциональными подразделениями, сократить циклы принятия решений и перейти от функциональной иерархии к процессному управлению с плоскими командами.

Рассмотрим признаки того, что процессы в компании требуют реинжиниринга: компании требуется слишком много времени для вывода своих продуктов на рынок по сравнению с конкурентами; процесс составления бюджета становится слишком трудоемким и сложным; продукты, работы, услуги компании не отвечают ожиданиям потребителей. Вместе с тем, многие руководители компаний представляют реинжиниринг только как инструмент для повышения экономической эффективности операционных процессов посредством анализа факторов времени, затрат и качества [2]. Однако, на наш взгляд, реинжиниринг можно рассматривать как стратегический инструмент, который позволяет совершенствовать как бизнес-процессы, так и потенциал и возможности компании на конкурентных рынках в т.ч. на макроуровне. Учитывая тенденции общества к повышению устойчивости, компании сегодня совершенствуют бизнес-процессы в рамках ведения экологической и социальной политики. Это повышает корпоративную репутацию и благосостояние. Достижение таких стратегических целей в рамках устойчивого развития как сокращение выбросов или минимизация экологических затрат на фоне повышения готовности общества платить за экологически безопасные продукты одновременно решают экологические проблемы на макроуровне [3].

Ключевым результатом грамотного реинжиниринга становится снижение операционной сложности, которая часто является скрытым тормозом роста. В условиях высокой инфляции и дорогих кредитов каждый лишний согласовательный этап или дублирующая функция напрямую увеличивают издержки. Радикальное переосмысление процесса означает, что компания готова задать вопрос «Почему мы вообще это делаем?» вместо «Как нам сделать это быстрее?». Такой подход высвобождает ресурсы для инвестиций в ключевые компетенции – например, в цифровизацию прогнозирования спроса или автоматизацию взаиморасчетов с контрагентами, что напрямую укрепляет финансовую устойчивость. Более того, реинжиниринг способствует повышению прозрачности: когда процессы формализованы и избавлены от необоснованных исключений, менеджмент получает возможность в реальном времени отслеживать узкие места и перераспределять потоки ликвидности, что критически важно при волатильности рынка.

Для подтверждения эффективности реинжиниринга бизнес-процессов как инструмента устойчивого развития рассмотрим конкретные статистические данные и примеры из деятельности российских компаний в период 2022–2025 годов, характеризующийся высокой макроэкономической турбулентностью. Показательным является пример ПАО «Группа Черкизово» – одного из крупнейших игроков на рынке мясопереработки России. В 2023 г. ком-

пания столкнулась с резким ростом ключевой ставки до 16% и существенным удорожанием оборотного капитала. Проведенный реинжиниринг процессов снабжения и логистики, включавший перепроектирование цепочки согласования заявок и внедрение параллельного оформления сопроводительных документов, позволил сократить операционный цикл с 87 до 52 дней, то есть снижение составило 40,2%. В результате высвобожденный оборотный капитал оценивается в 3,2 миллиарда рублей, а годовая экономия на процентных платежах достигла 512 миллионов рублей (из расчета средней ставки 16% годовых). По данным корпоративной отчетности, компания также заявила о снижении логистических издержек на 18% за счет перехода на параллельную обработку документов вместо последовательной [4].

Другой убедительный пример демонстрирует X5 Group, управляющая торговыми сетями «Пятерочка» и «Перекресток». В публичном отчете за 2024 г. компания указала, что перепроектирование процесса выкладки товаров и управления товарными запасами в распределительных центрах с элементами реинжиниринга и принципов бережливого производства позволило снизить потери от просроченного товара на 23%. В денежном выражении это составило 1,7 миллиарда рублей годовой экономии. Одновременно удалось сократить среднее время нахождения товара на складе с 11 до 7 дней, то есть снижение на 36,4%, что при средней стоимости заемного финансирования 18 процентов годовых дало дополнительный эффект в размере 890 миллионов рублей. Таким образом, общий подтвержденный экономический эффект от реинжиниринга только по двум направлениям превысил 2,5 миллиарда рублей в год [5].

Согласно исследованию рейтингового агентства «Эксперт РА», проведенному в 2024 г., компании, внедрившие полноценный реинжиниринг хотя бы одного сквозного процесса в 2022–2023 годах, в 2024 г. показали следующие средние результаты в сравнении с отраслевыми конкурентами, не проводившими реинжиниринг. Рентабельность по показателю EBIDTA у них оказалась выше на 4,7 процентного пункта, составив в среднем 16,2% против 11,5 процента у компаний, сохранивших старые процессы. Операционный цикл был короче на 28 дней: 57 дней против 85 дней. Отставание в адаптации к макроэкономическим шокам, измеряемое как время между изменением ключевой ставки Банка России и фактическим пересмотром ценовой политики компании, составляло у реинжиниринговых компаний 14 дней против 36 дней у их конкурентов. Наконец, доля просроченной дебиторской задолженности в общей выручке у компаний, прошедших реинжиниринг, не превышала 6 процентов против 14 процентов у компаний, не проводивших перестройку процессов [7].

Ниже представлен сравнительный анализ реинжиниринга и традиционных методов совершенствования в сложной макроэкономической среде. Традиционная оптимизация, такая как кайдзен или всеобщее управление качеством, дает улучшение на 10-20% в рамках существующей структуры, тогда как реинжиниринг обеспечивает радикальное преобразование со снижением затрат на 50-80% и ускорением процессов в разы. Исходный принцип традиционной оптимизации – «делай существующую работу быстрее и качественнее», тогда как реинжиниринг предлагает «забудь, как ты делал это раньше, и предложи новый способ достижения цели» [9]. Реакция на макроэкономический шок при традиционном подходе выражается в ужесточении контроля, сокращении бюджетов и заморозке найма, тогда как при реинжиниринге – в перестройке организационной модели, отказе от устаревших бизнес-юнитов и внедрении сквозных цифровых процессов. Роль информационных технологий при традиционной оптимизации сводится к автоматизации существующих действий и оцифровке бумажных форм, а при реинжиниринге информационные технологии выступают драйвером нового процесса, например использование искусственного интеллекта для динамического ценообразования в зависимости от макропоказателей. Наконец, устойчивость результата при традиционной оптимизации низкая: происходит быстрое возвращение к старым привычкам после снятия ограничений. При реинжиниринге достигается фундаментальная смена парадигмы работы, устойчивая к разным макроэкономическим сценариям [8].

Таблица 1

Сравнительный анализ реинжиниринга и традиционных методов совершенствования в сложной макроэкономической среде

Критерий	Традиционная оптимизация (Kaizen, TQM)	Реинжиниринг бизнес-процессов (BPR)
Степень изменения	Улучшение на 10-20% в рамках существующей структуры	Радикальное преобразование (снижение затрат на 50-80%, ускорение в разы)
Исходный принцип	«Делай существующую работу быстрее и качественнее»	«Забудь, как ты делал это раньше, и предложи новый способ достижения цели»
Реакция на макрошок	Ужесточение контроля, сокращение бюджетов, заморозка найма	Перестройка организационной модели, отказ от устаревших бизнес-юнитов, внедрение сквозных цифровых процессов
Роль ИТ	Автоматизация существующих действий (оцифровка бумажных форм)	Информационные технологии как драйвер нового процесса (например, использование ИИ для динамического ценообразования в зависимости от макропоказателей)
Устойчивость результата	Быстрое возвращение к старым привычкам после снятия ограничений	Устойчивая к разным макроэкономическим сценариям

Источник: составлено авторами на основе [3, 8].

Внедрение реинжиниринга как инструмента устойчивого развития требует от руководства готовности к управлению сопротивлением. Сотрудники, десятилетиями работавшие по старым регламентам, воспринимают перестройку процессов как угрозу стабильности. Однако именно в макроэкономической турбулентности проявляется парадокс: консервация процессов ради мнимой стабильности ведет к эрозии конкурентных позиций, тогда как радикальная перестройка позволяет создать запас прочности. Примеры компаний, которые в период кризисов 2008 и 2020 гг. провели реинжиниринг цепочек поставок и аутсорсинга непрофильных функций, демонстрируют, что они не только снизили операционные затраты на 30-40 процентов, но и получили возможность быстро масштабировать бизнес при наступлении фазы роста. Таким образом, реинжиниринг бизнес-процессов – это не антикризисный протокол, а стратегическая дисциплина, позволяющая превращать хаос макроэкономической среды в упорядоченные возможности для развития. Компании, которые сегодня инвестируют в перепроектирование своих процессов, завтра получат конкурентное преимущество не за счет монополии или дешевых ресурсов, а за счет скорости адаптации и отсутствия бюрократических барьеров – качеств, которые становятся определяющими в макроэкономической среде 2020-х годов [10].

Список литературы

1. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2011. – 288 с.

2. Репин В. В. Бизнес-процессы компании: от стратегии до операционной деятельности. – Москва : Инфра-М, 2022. – 336 с.

3. Тебекин А. В. Реинжиниринг бизнес-процессов: учебник для вузов. – Москва : Юрайт, 2023. – 342 с.

4. Официальный сайт ПАО «Группа Черкизово» [Электронный ресурс]. – URL: https://cherkizovo.com (дата обращения: 15.05.2026). – Раздел «Корпоративная отчетность», отчет за 2023 год.

5. X5 Group. Годовой отчет за 2024 год [Электронный ресурс]. – URL: https://www.x5.ru (дата обращения: 15.05.2026).

6. McKinsey & Company. Macroeconomic volatility and operational resilience: Global survey results, 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mckinsey.com (дата обращения: 15.05.2026).

7. Рейтинговое агентство «Эксперт РА». Исследование: эффективность операционной перестройки бизнеса в условиях ключевой ставки 16% [Электронный ресурс]. – URL: https://raexpert.ru (дата обращения: 15.05.2025). – 2024.

8. Зарипова А. Р., Соколов А. Ю. Реинжиниринг бизнес-процессов в эпоху цифровой экономики: от радикальной перестройки к непрерывной адаптации // IV International Scientific and Practical Conference «Issues of science, technology and society development» : сборник статей. – 2025. – С. 1–6.

9. Warner K. S. R., Wäger M. Building Dynamic Capabilities for Digital Transformation: An Ongoing Process of Strategic Renewal // Long Range Planning. 2019. Vol. 52. № 3. pp. 326–349.

10. Чикерова Н. В., Зайцев А. С. Адаптация персонала к цифровой трансформации: вызовы и решения // Организационная психология. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 112–130.

УДК 658.5

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ВЫЗОВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Зиганшин К.Н., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0001-1442-4811

KEY TRENDS AND CHALLENGES IN THE DIGITALIZATION OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Ziganshin K.N., Undergraduate student of Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-1442-4811

Аннотация

Статья посвящена анализу основных направлений цифровизации строительной отрасли. Дан обзор нормативных документов в данной сфере. Представлен краткий обзор зарубежного опыта внедрения цифровых технологий в строительство. Рассмотрены основные направления: использование технологий информационного моделирования, Интернет вещей, искусственный интеллект, дроны, блокчейн, цифровые двойники. Названы основные причины, препятствующие цифровой трансформации. Проанализирована результативность цифровизации в строительной отрасли Республики Татарстан.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, ТИМ, цифровая трансформация, интернет вещей, строительная отрасль, Республика Татарстан, проблемы цифровизации

Abstract

This article analyzes the key areas of digitalization in the construction industry. It provides an overview of relevant regulatory documents and summarizes international experience regarding the implementation of digital technologies in construction. The study examines major trends, including Building Information Modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, drones, blockchain, and digital twins. It identifies the primary obstacles hindering digital transformation and analyzes the effectiveness of digitalization efforts within the construction sector of the Republic of Tatarstan.

Keywords: digital transformation, building information modeling, BIM, Internet of things, construction industry, the Republic of Tatarstan, problems of digitalization

Введение

Инновационное развитие строительной отрасли России является необходимым условием успешного функционирования отечественной экономики, поскольку по состоянию на 2025 г. доля строительного сектора в ВВП была равна 5%, а доля занятых в нем составляла 9,2% от общего объема занятых [1; с. 3]. При этом в строительстве «до 30% средств теряется из-за, ошибок проектирования и низкой координации между участниками процесса» [2; с. 258]. Внедрение цифровых технологий может стать одним из конкурентных преимуществ и позволить создавать здания и сооружения быстрее, качественнее и экономить денежные средства. Перечисленные выше факты определяют актуальность заявленной темы исследования.

Основная цель исследования – проанализировать основные направления и вызовы процесса цифровизации в строительной отрасли.

Методологический подход основывается на количественном и качественном анализе научной литературы и статистических данных.

Основная часть

Цифровая трансформация строительной отрасли регулируется рядом нормативных документов. В Постановлении Правительства РФ от 15.09.2020 №1431 зафиксированы требования к работе с информационной моделью капитального строительства. «Стратегия развития строительной отрасли и ЖКХ сроком до 2030 года и с прогнозом до 2035 года» предусматривает перевод в электронный вид основных административных процедур. В 2023 г. в Единой информационной системе «Стройкомплекс.рф» были опубликованы XML-схемы, которые регулируют формат передачи данных между участниками строительного рынка. 11 июня 2026 были введены новые схемы: «Задание на проектирование» и «Пояснительная записка». Обязательное требование о применении технологии информационного моделирования для объектов капитального долевого строительства прописано в Постановлении Правительства РФ № 614 (от 01.09.2024). В настоящее время нормативно-правовая база данной сферы еще находится в процессе формирования, а реальное применение на практике отстает от мировых тенденций.

Изучение зарубежного опыта внедрения цифровых технологий в строительство позволяет выявить специфику этого процесса в разных странах. По мнению исследователей Андреевой Н.В. и Давиденко Н.А., «Великобритания является признанным лидером в области внедрения BIM-технологий, то есть технологий информационного моделирования» (ТИМ) [2; с. 261]. Стратегия «Construction 2025» (2011 год) установила «требование об обязательном использовании BIM Level 2 для всех государственных проектов, что позволило сократить затраты на 20%, а сроки реализации – на 15%» [3; с. 64].

Для США в данной сфере характерен рыночно-ориентированный подход, когда частные корпорации, такие как Autodesk, разрабатывают технологии, охватывающие весь жизненный цикл объекта. Около 60% инвестиций в строительную отрасль в 2023 г. составляли частные стартапы в области искусственного интеллекта [2; с. 261].

Системный подход к цифровизации строительства позволил Сингапуру занять ведущие позиции в Азии. Внедрение концепции «Smart construction sites» («умные строительные площадки»), а также «обязательное внедрение информационного моделирования зданий позволило увеличить производительность труда на 35%, снизить сроки – на 30%, а количество несчастных случаев уменьшилось на 50%» [2; с.262].

В одной из наиболее динамично развивающихся экономических системах мира, в Китае, приоритетным является увеличение скорости возведения объектов в том числе с применением 3D -печати. Именно Китаю принадлежат мировые рекорды по «печати» зданий. Внедрение данной технологии позволяет китайским строителям сокращать сроки строительства до 70% [2; с. 6].

«В мировом масштабе строительный сектор экономики сильно отстает с внедрением цифровых технологий, опережая только сельское хозяйство» (по результатам исследований McKinsey Global Institute) [4]. Сравнительный анализ, проведенный Андреевой Н.А. и Давиденко Н.В., свидетельствует о «значительном отставании по внедрению цифровых технологий в строительной отрасли в России по сравнению в ведущими зарубежными странами» [2; с. 261-262].

В результате исследований Кисель Т.Н. установлено, что «уровень применения технологий информационного моделирования отечественными предприятиями строительной сферы в настоящее время составляет порядка 22-30%. При этом только 7% предприятий работают преимущественно с ТИМ» [1; с. 4]. Российские предприятия оказались не готовы к полномасштабному внедрению ТИМ, поэтому решение об обязательности их использования неоднократно откладывалось.

Исследователи называют следующие причины данной ситуации:

– «недостаток финансирования процессов цифровизации и цифровой трансформации (в том числе финансовых ресурсов на закупку оборудования, программного обеспечения (ПО), повышение квалификации)» [1; с. 5];

– «наличие сопротивления изменениям как со стороны персонала, так и со стороны менеджмента;

– длительность окупаемости инвестиций;

– недостаточный уровень государственной поддержки, то есть отсутствие конкретных стратегий и законодательной базы, а также недостаточное финансирование» [2; с. 263];

– необходимость внедрения экосистемного подхода, то есть стандартизированных цифровых систем, объединяющих всех участников строительной отрасли [2; с. 263].

Цифровая трансформация предусматривает масштабное внедрение информационных и телекоммуникационных технологий. Рассмотрим инновационные процессы, в настоящее время активно внедряемые в строительной отрасли.

Основным направлением цифровизации строительной сферы является применение технологий информационного моделирования (ТИМ / BIM). По результатам исследования, проведенном Т.Н. Кисель, полное или частичное применение ТИМ подтвердили более трети респондентов: «Этому способствовали многочисленные мероприятия, посвященные проблемам и преимуществам ТИМ, совместная работа профессиональных сообществ, государственных министерств и ведомств, значительно расширившиеся возможности обучения в сфере ТИМ. Безусловно, оказало влияние и решение сделать применение ТИМ обязательным при работе с проектами, финансируемыми из средств бюджетной системы» [5; с. 32].

В ответ на вопрос о программном обеспечении, которое используется для создания информационных моделей, было названо более 30 программ. В первую десятку вошли: Autodesk Revit (76,4%), AutoCAD (62,7%), далее с большим отставанием Navisworks, ArchiCAD, ЛИРА-САПР, Dynamo, SketchUp, Renga, AVEVA E3D, AVEVA Bocad, САПФИР-3D [5; с. 33]. Причем ЛИРА-САПР Renga и САПФИР-3D –это российские разработки. Следует отметить, что данный опрос проводился в 2023 году и мы можем предположить, что в настоящее время

строительные компании активнее внедряют отечественные программы, что связано с санкционным давлением на нашу страну.

В последние годы большинство сложных объектов в России возводятся с применением ТИМ, наиболее известным считается самый высокий небоскреб в Европе Лахта Центр в Санкт-Петербурге, для которого применялась ТИМ, что позволяло всем участникам проекта в реальном времени видеть все вносимые изменения.

Цифровые технологии, объединяемые единым названием Интернет вещей (IoT), предусматривают автоматизацию процессов с ограничением роли человека с целью экономии ресурсов, повышения эффективности и безопасности. Данные технологии широко применяются в строительной сфере, например, датчики, установленные на объектах, технике и сотрудниках, в реальном времени позволяют отслеживать качество материала, соблюдение технологических процессов, состояние оборудования и местоположение работников. В статье Андреевой Н.В. и Давиденко Н.А. приводятся результаты исследования McKinse: «применение технологий IoT в строительстве позволяет снизить время простоя техники на 30%, уменьшить потери материалов на 20%, повысить безопасность на стройплощадке на 40%» [2; с. 260].

Технологии виртуальной или дополненной реальности (VR/AR) в настоящее время используют более 7% строительных компаний [5; с. 35]. Они позволяют заказчикам и строителям «увидеть» объект на местности и при необходимости скорректировать пространственные решения. По данным отчета Goldman Sachs, «технологии дополненной реальности применяются для обучения персонала (25% рынка), визуализации проектов (30%), управления строительством» (25%) [2; с. 260].

Технологии искусственного интеллекта (AI) в настоящее время активно внедряются в различные сферы нашей жизни. В строительстве они используются в следующих направлениях: для оптимизации проектных решений, для повышения контроля качества, для управления строительной техникой. По данным «компании Autodesk, использование AI в проектировании позволяет сократить время разработки типовых решений на 50-60%» [2; с. 260].

Дроны (БПЛА) для контроля объема выполненных работ, по данным исследования Кисель Т.Н., применяли более 10% компаний [8; с. 35]. Однако в настоящее время использование данной технологии в России затруднено по причине строгих ограничений на запуск гражданских БПЛА.

Блокчейн-технологии имеют большой потенциал в строительной отрасли. Они способствуют оптимизации документооборота, избавляют процесс от посредников и делают его прозрачным, снижая тем самым коррупционные риски. Однако на первоначальном этапе эта технология требует больших инвестиций в оборудование, программное обеспечение и подготовку персонала, что является непосильным для небольших компаний. Отсутствие законодательной базы также тормозит повсеместное внедрение блокчейн-технологий, например, юридический статус смарт-контрактов остается неопределенным. Однако специалисты видят большую перспективу в объединении возможностей технологий ИИ и блокчейн.

Новой ступенью развития информационных технологий стали цифровые двойники (Digital twins), которые в отличие от ТИМ не статичны, они обновляются в режиме реального времени. «К 2025 году около 30% крупных строительных проектов в мире использовали систему цифровых двойников» [2; с. 261].

Среди основных причин, препятствующих быстрому переходу строительной отрасли к цифровым технологиям, исследователи и практики выделяют следующие:

- высокая стоимость внедрения (закупка оборудования, программ, обучение персонала);
- низкий уровень применения цифровых технологий отдельными участниками отрасли;
- дефицит квалифицированных кадров на рынке труда;
- нехватка знаний и отсутствие цифровой культуры у менеджмента организации;
- недостаточная поддержка государства (отсутствие льгот и законодательной базы);

– сложность точного измерения эффекта цифровизации;
– сопротивление сотрудников изменениям;
– нежелание контрагентов работать в цифровой среде;
– длительный срок окупаемости инвестиций;
– медленное обновление законодательной базы, которая отстает от технологического процесса;
– бюрократизация процесса (зачастую электронный документооборот дублируется в бумажном виде [5; с. 38].

Рассмотрим результативность внедрения цифровых технологий в строительстве на примере Республики Татарстан, одного из регионов-лидеров инновационной экономики в России. Центр компетенций Минстроя РФ регулярно публикует так называемый «светофор внедрения ИСУП (Информационная система управления проектами)», где эффективность цифровизации строительства в регионах оценивается по следующим критериям: внедрение ИСУП, применение ТИМ, обеспечение кадрами, функционирование ГИСОГД (Государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности) и др. В 2024 Татарстан занял первое место с показателем цифровизации на уровне 69%. С тех пор Республика не только не уступила лидирующие позиции, но и улучшила свои результаты – в марте 2026 года Татарстан снова на первом месте – с показателем 89,1%.

По результатам комплексного анализа реализации программ цифровизации, проведенного в «Центре перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», Ельшин Л.А. и Ибрагимов Э.М. выделяют факторы, которые позволили Татарстану стать лидером по внедрению цифровых технологий в строительной отрасли: «Политическая воля и стратегическое видение. (…) Системное управление процессом (…) Финансовое обеспечение. (…) Организационно-техническая готовность. (…) Концентрация инвестиционных ресурсов» [6; с. 78].

Выводы

1. В результате совместных усилий государственных ведомств, профессионального сообщества, общественных и научно-образовательных организаций, отдельных лидеров строительной отрасли наблюдается положительная динамика по внедрению цифровых технологий в строительство;

2. Наиболее перспективными технологиями можно считать ТИМ, Интернет вещей, дополненная/виртуальная реальность, искусственный интеллект, блокчейн, цифровые двойники, БПЛА,3D-печать и др.

3. Основные причины, препятствующие эффективной цифровой трансформации: необходимость больших инвестиций, длительный срок окупаемости, отсутствие квалифицированных кадров, недостаточная поддержка государства, психологическое сопротивление работников строительных компаний и др.

4. Несмотря на существующие трудности, Республика Татарстан является лидером по результативности цифровой трансформации в строительной отрасли и может служить примером другим регионам.

Список литературы

1. Кисель, Т. Н. Реструктуризация предприятий инвестиционно-строительной сферы в условиях перехода на цифровое строительство : специальность 5.2.6. «Менеджмент» : автореферат на соискание ученой степени доктора экономических наук / Кисель Татьяна Николаевна ; Московский государственный строительный университет. – Москва, 2025. – 52 с.

2. Андреева, Н. В. Цифровая трансформация в строительстве: анализ и стратегия / Н. В. Андреева, Н. А. Давиденко // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2025. – №12 (182), – С. 257-265.

3. UK National Audit Office. BIM Implementation Review. – London, 2022. – 64 p.

4. McKinsey Global Institute. Reinventing construction: A route to higher productivity. – New York: McKinsey & Company, 2017. – 112 p.

5. Кисель, Т. Н. Исследование уровня цифровизации на российских предприятиях инвестиционно-строительной сферы : монография / Т. Н. Кисель, Ю. С. Прохорова. – Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023.

6. Ельшин, Л. А. Анализ результатов реализации программ цифровизации строительной сферы в Республике Татарстан / Л. А. Ельшин, Э. М. Ибрагимов // Электронный экономический вестник Татарстана. – 2025. – Т. 4. – С. 70–83.

УДК 005.35:004.7

ДЕКЛАРАЦИИ И РЕАЛЬНОСТЬ: БАРЬЕРЫ И ПРОВАЛЫ СИНЕРГИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И ESG-ПОВЕСТКИ В УПРАВЛЕНИИ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ КОМПАНИИ (РОССИЙСКИЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ)

Игнатьева О.А., к.э.н., доцент кафедры экономической теории и эконометрики;
ORCID: 0000-0002-9887-2901;
E-mail: dip789@mail.ru;
Усанова Д.Ш., к.э.н., доцент кафедры управления корпоративными финансами;
ORCID: 0000-0002-3195-7011;
E-mail: diana-diana@rambler.ru;
Шакиров Р.Н., студент Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-2934-1647;
E-mail: sharn1985@yandex.ru

DECLARATIONS AND REALITY: BARRIERS AND FAILURES OF SYNERGY BETWEEN DIGITAL TRANSFORMATION AND THE ESG AGENDA IN MANAGING A COMPANY'S SUSTAINABLE DEVELOPMENT (RUSSIAN AND FOREIGN EXPERIENCE)

Ignatyeva O.A., Ph.D. (Econ.), Associate Professor, Department of Economic Theory and Econometrics;
ORCID: 0000-0002-9887-2901;
E-mail: dip789@mail.ru;
Usanova D.Sh., Ph.D. (Econ.), Associate Professor, Department of Corporate Finance Management;
ORCID: 0000-0002-3195-7011;
E-mail: diana-diana@rambler.ru;
Shakirov R.N., Student, Institute of Management, Economics, and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-2934-1647;
E-mail: sharn1985@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматриваются барьеры и провалы синергии цифровой и ESG-трансформации (экологической, социальной и управленческой ответственности) в управлении устойчивым развитием компании. Актуальность исследования обусловлена расхождением между декларируемым в стратегических документах синергетическим эффектом и реальной операционной динамикой в корпоративном секторе.

На материале российского и зарубежного опыта показано, что синергия двух повесток реализуется неравномерно и зависит от секторальной специфики бизнеса. В компаниях с цифровой основой деятельности (финансовый и ИТ-сектор) синергия фиксируется эмпирически: ESG-метрики органично встраиваются в данные операционных систем, а портфель ответственного финансирования растет. В производственно-ресурсном секторе обнаруживается структурная деформация синергии, обусловленная двойной нагрузкой на бюджет – импортозамещение иностранного ПО конкурирует за ресурсы с программами декарбонизации. Внутренним барьером выступает отсутствие в России единой методики оценки ESG-показателей, что делает межкорпоративные сопоставления затруднительными, а отчетность произвольной по набору индикаторов. Внешним барьером является политизация ESG-повестки за рубежом, включая законодательные ограничения на учет ESG- факторов при инвестиционных решениях.

Установлено, что синергия цифровой и ESG-трансформации не является данностью, а представляет собой функцию от секторальной принадлежности компании и макроэкономической турбулентности, включая санкционные ограничения доступа к зарубежным «зеленым» технологиям. Сделан вывод о необходимости формирования комплексного подхода к интеграции цифровых и ESG-инициатив, предполагающего согласование стратегий, развитие управленческих механизмов и повышение уровня корпоративной зрелости.

Ключевые слова: ESG-повестка, цифровая трансформация, устойчивое развитие, импортозамещение, ресурсодобывающие компании, синергия, корпоративная отчётность

Abstract

This article examines the barriers and failures in achieving synergy between digital transformation and the ESG agenda (Environmental, Social, and Governance) in managing corporate sustainable development. The study is motivated by the gap between the synergistic effects declared in strategic documents and the actual operational dynamics observed in the corporate sector.

Drawing on Russian and international experience, the paper demonstrates that the integration of these two agendas is uneven and strongly dependent on industry-specific characteristics. In companies with a digital core (such as the financial and IT sectors), synergy is empirically observable: ESG metrics are naturally embedded in operational data systems, and the volume of responsible financing is increasing. In contrast, in the production and resource sectors, a structural imbalance in synergy is identified, driven by competing resource demands, where import substitution of foreign software competes with decarbonization initiatives for limited financial resources.

An important internal barrier is the absence of a unified methodology for assessing ESG indicators in Russia, which complicates inter-company comparisons and leads to inconsistency in corporate reporting. An external barrier is the increasing politicization of the ESG agenda in international practice, including legislative restrictions on the consideration of ESG factors in investment decisions in certain U.S. states.

The study finds that synergy between digital and ESG transformation is not guaranteed but depends on industry affiliation and broader macroeconomic conditions, including sanctions-related constraints on access to foreign green technologies. The paper concludes that an integrated approach to aligning digital and ESG initiatives is required, involving strategic coordination, the development of governance mechanisms, and the enhancement of corporate maturity.

Keywords: ESG agenda, digital transformation, sustainable development, import substitution, resource-based companies, synergy, corporate reporting

Современный корпоративный сектор на протяжении последних полутора десятилетий последовательно движется двумя пересекающимися курсами. Первый связан с цифровой трансформацией бизнес-процессов, переходом к платформенным моделям управления и широким применением технологий обработки больших данных и искусственного интеллекта.

Второй обусловлен постепенной интеграцией принципов экологической, социальной и управленческой ответственности (ESG) в стратегии корпоративного управления и в требования к нефинансовой отчётности. На стыке этих двух повесток сложился концептуальный консенсус о синергии: цифровые технологии должны повышать прозрачность раскрытия нефинансовой информации, оптимизировать ресурсопотребление, обеспечивать достоверность климатических метрик, а ESG-логика – задавать содержательные ориентиры для цифровых проектов. Подобное представление приобрело статус почти аксиоматического и воспроизводится как в академических работах, так и в стратегических документах крупнейших корпораций. Однако фактическая реализация синергии в российских и зарубежных компаниях обнаруживает заметный зазор между декларацией и операционной действительностью, особенно отчётливый в производственных и ресурсодобывающих отраслях. Сказанное обусловливает цель работы: рассмотреть барьеры и провалы синергии цифровой и ESG-трансформации в управлении устойчивым развитием компании на материале российского и зарубежного опыта, с особым вниманием к различиям между непроизводственным и производственным секторами.

Концептуальная база синергии цифровой и ESG-повесток сформировалась преимущественно в рамках исследований, выполненных на эмпирике крупных производственных компаний КНР. Введённый в этой литературе термин DESG (Digital ESG) обозначает качественное преобразование самих ESG-метрик под воздействием цифровизации, при котором повышение операционной прозрачности рассматривается как основной механизм улучшения нефинансовых показателей [1]. Эмпирические работы на массиве листинговых производственных компаний Шанхайской и Шэньчжэньской бирж за 2011-2021 гг. подтверждают значимое положительное влияние цифровой трансформации на ESG-показатели – главным образом через рост раскрываемости информации [2]. Близкие выводы получены и для отдельных промышленных подсегментов: цифровые двойники, технологии предиктивного обслуживания, инструменты оптимизации логистических цепочек способны давать кумулятивный эффект как на операционных, так и на климатических индикаторах. Эта положительная связь, многократно воспроизведённая в литературе, и составляет основу для тезиса о синергии – тезиса, в академической среде нередко принимаемого без существенных оговорок.

Та же литература фиксирует и пределы зеркальности эффектов. В работе Wang J. и соавторов отмечается, что цифровизация в трудоёмких отраслях ведёт к снижению занятости – особенно среди низкоквалифицированных позиций, замещаемых средствами искусственного интеллекта, – что вступает в прямое противоречие с социальной составляющей ESG-повестки [1]. Авторы прямо указывают на гетерогенность эффектов в разрезе интенсивности труда, пространственных характеристик и формы собственности предприятия: цифра, улучшая экологические индикаторы, способна ухудшать социальные. Помимо этого, в эмпирическом исследовании китайских производителей описан так называемый эффект «stop-loss in time», действие которого формулируется следующим образом: «*Поскольку и цифровая трансформация, и ESG-практики требуют значительных вложений ресурсов, компании, испытывающие финансовые трудности, могут счесть невозможным поддерживать эти высокозатратные реформы только за счёт собственных средств; в результате процесс трансформации замедляется, а ESG-практики сокращаются или даже приостанавливаются*» (пер. с англ.) [2]. Подобная логика делает синергию обусловленным феноменом – она работает в условиях финансовой устойчивости и замедляется при ресурсных ограничениях, причём страдают одновременно оба её компонента.

В российской практике ESG-повестка получила широкое распространение в 2018–2021 гг. на фоне выхода крупных компаний-экспортёров на международные рынки капитала и в условиях ужесточения регуляторных требований европейских юрисдикций. К началу 2022 г. ориентация на ESG приобрела массовый характер, охватив банковский, металлургический, нефтегазовый и розничный сегменты; среди драйверов формирования повестки выделя-

лись регуляторы и органы власти, акционеры и инвесторы, советы директоров и топ-менеджмент компаний, тогда как влияние гражданского общества оценивалось как ограниченное – в отличие от европейской и североамериканской траекторий [3]. Геополитические события 2022 г. изменили эту траекторию резко и системно. По итогам опроса, проведённого среди топ-менеджеров российских компаний и ESG-специалистов в начале 2023 г., расходы на ESG-политику в 2022 г. сократили 40% участников рынка, а 52% сообщили о пересмотре стратегий устойчивого развития [4]. Смещение акцентов оказалось не столько количественным, сколько качественным: компании ушли от подсчёта выбросов парниковых газов в сторону мониторинга климатических рисков, то есть от действий к наблюдению [5].

Помимо ситуативных ограничений, ESG-повестка в России столкнулась с рядом структурных недостатков, фиксируемых исследователями как самостоятельные системные проблемы. К числу таких устойчивых проблем относится следующий комплекс [6]:

– отсутствие единой методики оценки показателей устойчивого развития, что делает межкорпоративные и межотраслевые сопоставления затруднительными, а сами рейтинговые оценки – внутренне неоднородными;

– несбалансированность раскрываемых индикаторов как по составляющим E, S и G, так и в составе каждой из них, в результате чего отчётность приобретает характер произвольного набора показателей, отбираемых компанией по собственному усмотрению;

– отсутствие в структуре ESG-отчётности финансовых показателей, без которых невозможно ни оценить ресурсные возможности устойчивой повестки, ни сопоставить заявленные обязательства с фактическим распределением бюджета.

Принципиальное замечание формулируется исследователями через мысль о структурном несоответствии: «*Стратегия ESG направлена в первую очередь на «озеленение» тех отраслей хозяйственной деятельности, которые априори нельзя назвать «зелёными», в России на сегодняшний день особо развиты именно такие отрасли*» [6, с. 63]. Сформулированное наблюдение определяет принципиально иной характер задач, стоящих перед ресурсодобывающим и перерабатывающим сектором, по сравнению с финансовым или информационно-технологическим, и предопределяет несовпадение траекторий, по которым эти секторы движутся к ESG-целям.

Барьеры цифровой трансформации в нефтегазовом комплексе России по своей природе сопоставимы с описанными ESG-проблемами и группируются в несколько устойчивых категорий [7]:

– финансовые ограничения, связанные с капиталоёмкостью отрасли и длительностью окупаемости цифровых проектов в условиях значительной волатильности сырьевых цен;

– технологические – отсутствие отечественных аналогов широкого спектра прикладного программного обеспечения, средств управления промышленной автоматизацией и узкоспециализированных решений для геологоразведки и моделирования месторождений;

– кадровые, обусловленные дефицитом специалистов на стыке инженерных и цифровых компетенций, а также уходом части квалифицированных работников после 2022 г.;

– организационные, проявляющиеся в инерции корпоративных процедур и в скептицизме самой отрасли – «*не все видят перспективы в интенсификации производства за счёт цифровизации*» [7, с. 77].

Все четыре группы барьеров действуют в нефтегазовом секторе одновременно, и совокупный эффект их влияния многократно усиливается фактором импортозамещения. Согласно наблюдению, сделанному в указанной работе, основным препятствием цифровой трансформации в российском нефтегазовом сегменте выступает именно вынужденная замена иностранных технологий в условиях санкционного давления, что переводит ИТ-расходы из категории инвестиций в новые возможности в категорию затрат на воспроизведение существующего функционала. Логика «развития» подменяется логикой «удержания позиций».

Различие между типами компаний, с разной степенью успешности реализующих синергию цифровой и ESG-повесток, проявляется в России особенно отчётливо. У одной группы организаций – представителей финансового и ИТ-сектора – нематериальный характер основной деятельности позволяет встраивать цифровизацию и ESG-цели в единую логику; у другой – производственно-ресурсной – те же повестки начинают конкурировать за один и тот же ограниченный бюджет, что становится особенно очевидным при сопоставительном анализе характеристик синергии в двух типах компаний (табл. 1).

Таблица 1

Сопоставительные характеристики синергии цифровой и ESG-трансформации в российских компаниях разных секторов

Параметр	Непроизводственный сектор (Сбер, Яндекс, МТС)	Производственный сектор (Газпром, Роснефть, Транснефть, Сибур)
Природа основной цифровой инфраструктуры	Совпадает с операционным ядром бизнеса	Является надстройкой над физическими активами
Содержание ESG-эффекта	Энергоэффективность дата-центров, цифровая инклюзия, прозрачность сервисов	Сокращение выбросов производственного цикла, безопасность, рекультивация
Структура ИТ-расходов после 2022 г.	Преимущественно развитие новых функций и сервисов	Преимущественно замещение зарубежного ПО (ERP, SCADA, отраслевые САПР)
Источник ESG-метрик	Внутренние данные единой цифровой платформы	Раздельные системы измерений, унифицируемые с трудом
Главное противоречие синергии	Энергоёмкость ИИ-инфраструктуры	Конкуренция бюджетов цифровизации и декарбонизации

Ситуация по непроизводственному сектору соответствует тому сценарию, который описывается в зарубежной литературе как цифровое расширение возможностей ESG. ESG-рейтинг ПАО Сбербанк по оценке отечественных агентств остаётся на уровне AA+, а портфель ответственного финансирования за 2024 г. превысил 3,8 трлн руб., увеличившись более чем на 30% относительно предшествующего периода. Группа МТС утвердила стратегию декарбонизации с раскрытием показателей по всем четырём охватам выбросов, более чем удвоила инвестиции в природоохранные мероприятия и заняла первую строку в рейтинге углеродного следа отечественных компаний по итогам 2024 г. Аналогичную траекторию демонстрирует ПАО «Яндекс», интегрирующее ESG-инициативы непосредственно в архитектуру собственных сервисов – от программ возврата упаковки до использования нейросетевых решений для экологического мониторинга. У этих компаний цифровая инфраструктура и ESG-метрики находятся в одной плоскости, и оптимизация одних показателей сопряжена с улучшением других.

Иначе устроена ситуация в нефтегазохимическом и трубопроводном сегментах. Доля российского программного обеспечения в сферах геологоразведки и добычи у ПАО «Газпром» выросла с нулевой в 2015 г. до 75% в 2020 г.; однако дальнейшее замещение базовых учётных систем (миграция с SAP на «1С», развёртывание собственных платформ типа «ИУС П 2.0» и «Транснефть-SCADA») потребовало беспрецедентных вложений, конкурирующих с программами декарбонизации за тот же бюджет. По агрегированной оценке отраслевых аналитиков, расходы российского нефтегазового сектора на цифровизацию в 2023 г. достигли 53 млрд руб.

(рост к предшествующему году – 17%), а доля ИТ-импортозамещения в отрасли в 2024 г. оценивалась в диапазоне 40–60% [8]. Симптоматичен и пример ПАО «СИБУР Холдинг»: один из самых цифровизованных производственных игроков фиксирует сокращение экономического эффекта от цифровизации почти вдвое – с 13,2 млрд руб. в 2022 г. до 6,5 млрд руб. в 2024 г., что косвенно отражает истощение «лёгкого» цифрового резерва на фоне расходов, перенаправленных на воспроизведение зарубежного ИТ-стека.

К аналогичным выводам подводит сопоставительное исследование ESG-трансформации российских нефтегазовых компаний – ПАО «Лукойл», ПАО «Газпромнефть» и ПАО «НК «Роснефть». В этой работе фиксируется, что отрасль «*находится в середине трансформации*» и что для её завершения необходимы «*большие затраты бюджета и перестройка многих процессов внутри компаний*» [9, с. 79]. Одновременно регистрируется и обратный процесс – откладывание ранее заявленных ESG-программ под влиянием санкционных ограничений: турбулентность 2022 г. и последующих лет вынудила компании пересматривать сроки реализации климатических инициатив, а в ряде случаев – приостанавливать их полностью. Декларируемая синергия в производственном секторе оказывается ослабленной в обоих своих компонентах: цифровая трансформация сужается до импортозамещения, ESG-стратегии замораживаются или редактируются в сторону снижения амбиций, тогда как корпоративные документы продолжают воспроизводить риторику ускоренной устойчивой трансформации.

Декларативно-операционный разрыв в области синергии не является исключительно российской особенностью. В США в 2023 г. в законодательных собраниях шестнадцати штатов были приняты двадцать два закона и шесть резолюций, ограничивающих учёт ESG-факторов при инвестиционных решениях государственных фондов; решение Texas Permanent School Fund о выводе 8,5 млрд долл. из управления BlackRock на основании несовместимости ESG-политики компании с энергетическими интересами штата стало символическим маркером более широкого процесса политизации повестки [10]. Изменилась и публичная риторика крупнейших участников рынка: руководитель BlackRock Л. Финк публично отказался от использования самого термина ESG, а феномен «greenhushing» – намеренного замалчивания компаниями собственных климатических обязательств – оформился в самостоятельную тенденцию. Расширение цифровой инфраструктуры – прежде всего дата-центров, обслуживающих системы искусственного интеллекта, – оборачивается ростом углеродного следа крупнейших технологических корпораций: запросы к большим языковым моделям требуют существенно больших объёмов электроэнергии, чем традиционные поисковые сервисы, а строящиеся под потребности ИИ газовые электростанции по объёмам выбросов сопоставимы с национальной эмиссией ряда государств.

Сказанное в совокупности позволяет сформулировать заключительный тезис: синергия цифровой и ESG-повесток является не данностью, а функцией от структурных характеристик компании, прежде всего от соотношения между нематериальной и материальной составляющими её бизнеса. В сегментах с преобладанием цифровой инфраструктуры ESG-метрики органично встраиваются в данные операционных систем, и оптимизация одних показателей сопряжена с улучшением других. В сегментах с тяжёлой материальной основой – добыча, переработка, трубопроводный транспорт – между двумя повестками возникает структурная конкуренция за ресурс, причём эта конкуренция многократно обостряется внешними шоками, к числу которых относятся как геополитические санкции и связанные с ними ограничения на доступ к зарубежным технологиям, так и более широкий международный откат от ESG-инструментария в его прежней редакции. Примечательно в этой связи замечание о том, что «*быстрый темп вхождения в процессы ESG-трансформации создаёт множество неопределённостей для российских компаний*» [3, с. 70]; эти неопределённости в наименьшей степени смягчаются именно цифровизацией – как раз потому, что сама цифровизация в производственных компаниях оказывается зависимой от тех же источников, что и ESG-инфраструктура.

Из приведённого анализа следует, что синергия цифровой и ESG-трансформации, постулируемая в стратегических документах и в академической литературе, в действительности реализуется неравномерно и существенно зависит от секторальной специфики компании. В организациях с цифровой основой бизнеса синергия фиксируется как эмпирический факт; в производственных же – обнаруживает признаки структурной деформации, обусловленной двойной нагрузкой на ИТ-бюджет и параллельным сужением доступа к зарубежным «зелёным» технологиям. Ситуация осложняется тем, что и в зарубежной практике синергия пробуксовывает на фоне политизации ESG-повестки и стремительного роста энергопотребления цифровой инфраструктуры.

Список литературы

1. Wang J., Hong Z., Long H. Digital Transformation Empowers ESG Performance in the Manufacturing Industry: From ESG to DESG // SAGE Open. – 2023. – Vol. 13, № 4. – DOI: 10.1177/21582440231204158. – URL: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/21582440231204158

2. Technology empowerment: Digital transformation and enterprise ESG performance – Evidence from China's manufacturing sector // PLOS ONE. – 2024. – DOI: 10.1371/journal.pone.0302029. – URL: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0302029

3. Изибаева, В. В. Применение ESG-факторов в управлении бизнесом в условиях антироссийских санкций / В. В. Изибаева, Я. Н. Ильясова, А. А. Соломонова // Дорога знаний. – 2022. – № 3. – С. 66–71. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-esg-faktorov-v-upravlenii-biznesom-v-usloviyah-antirossiyskih-sanktsiy

4. 40% российских компаний урезали расходы на ESG-политику в 2022 году // Forbes. – 2023. – 21 марта. – URL: https://www.forbes.ru/biznes/486426-40-rossijskih-kompanij-urezali-rashody-na-esg-politiku-v-2022-godu

5. Универсальный бизнес-язык: зачем заниматься ESG в новых реалиях // Inc. Russia. – 2023. – 15 апреля. – URL: https://incrussia.ru/understand/esg-v-rossii-2023/

6. Козлова, А. И. ESG-стандарты для управления устойчивым развитием компании / А. И. Козлова, Ю. В. Ляндау // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 4. – С. 62–65.

7. Соколова, Ю. Д. Процесс цифровой трансформации нефтегазовой отрасли Российской Федерации: состояние, барьеры, перспективы / Ю. Д. Соколова // Новизна. Эксперимент. Традиции. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 66–77. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/protsess-tsifrovoy-transformatsii-neftegazovoy-otrasli-rossiyskoy-federatsii-sostoyanie-bariery-perspektivy

8. Российские нефтегазовые компании увеличили годовые расходы на цифровизацию на 20% до 162 млрд // TAdviser. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Информационные_технологии_в_нефтегазовой_отрасли

9. Полякова, П. М. Анализ ESG-трансформации российских компаний нефтегазовой отрасли / П. М. Полякова, А. В. Малков, Н. А. Рудакова // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36, № 1 (250). – С. 78–81. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-esg-transformatsii-rossiyskih-kompaniy-neftegazovoy-otrasli

10. Do Red and Blue States Walk Their Politicians' ESG Talk? // California Management Review. – 2024. – May 28. – URL: https://cmr.berkeley.edu/2024/05/do-red-and-blue-states-walk-their-politicians-esg-talk/.

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ ОТДЕЛА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Канькина О.А., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0006-7981-4622

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR THE DISPATCH SERVICE OF THE INFORMATION TECHNOLOGY DEPARTMENT

Kankina O.A., Master's student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0006-7981-4622

Аннотация

В статье рассматривается разработка информационной системы для автоматизации деятельности диспетчерской службы отдела информационных технологий предприятия. Проведен анализ существующих подходов к организации технической поддержки на основе методологий ITSM и ITIL, выполнено сравнение моделей Help Desk и Service Desk. Разработана архитектура системы с использованием IDEF0 и IDEF3, построены концептуальная и логическая модели базы данных. Реализация выполнена на платформе Django с СУБД PostgreSQL. Предусмотрено автоматическое распределение заявок между инженерами на основе типа неисправности и текущей загрузки. Система обеспечивает прием заявок, планирование работ, формирование отчетности и управление справочной информацией. Внедрение решения позволяет повысить оперативность обработки заявок, обеспечить прозрачность распределения задач и снизить организационные издержки.

Ключевые слова: информационная система, диспетчерская служба, Service Desk, автоматизация заявок, проектирование баз данных

Abstract

The article discusses the development of an information system for automating the activities of the IT department dispatching service. The analysis of existing approaches to technical support organization based on ITSM and ITIL methodologies is carried out, and a comparison of Help Desk and Service Desk models is made. The system architecture was developed using IDEF0 and IDEF3, and conceptual and logical database models were built. The system is implemented on the Django platform with PostgreSQL DBMS. Automatic distribution of requests between engineers based on the type of malfunction and current workload is provided. The system ensures request reception, work planning, reporting and reference information management. Implementation of the solution improves request processing efficiency, ensures transparency of task distribution and reduces organizational costs.

Keywords: information system, dispatch service, Service Desk, application automation, and database design

Введение

В условиях стремительного развития информационных технологий эффективность работы предприятий во многом определяется уровнем автоматизации внутренних процессов и качеством обслуживания сотрудников в сфере технической поддержки. Отдел информационных технологий (ОИТ) обеспечивает бесперебойное функционирование программного и аппаратного обеспечения, а также оперативное реагирование на обращения пользователей [1].

Диспетчерская служба ОИТ играет важную роль в процессе обработки заявок на техническое обслуживание и устранение неисправностей. При высокой нагрузке и большом объеме обращений традиционные методы ведения учета и планирования становятся недостаточно эффективными, что приводит к снижению оперативности реагирования, увеличению сроков исполнения и росту издержек [2]. В связи с этим актуальной задачей является разработка и внедрение специализированной информационной системы, предназначенной для автоматизации деятельности диспетчерской службы.

Целью работы является создание информационной системы, предназначенной для приема, обработки и контроля исполнения заявок на обслуживание, а также формирования отчетности. Внедрение подобной системы позволит оптимизировать рабочие процессы, повысить эффективность персонала, улучшить качество предоставляемых услуг и обеспечить прозрачность внутри подразделения ОИТ.

Анализ существующих решений

ITSM (Information Technology Service Management) представляет собой концептуальный подход к организации работы ИТ-подразделений, основанный на четком планировании, проектировании, внедрении и контроле предоставляемых ИТ-сервисов [3]. Наиболее широко применяемым стандартом в рамках ITSM является ITIL (IT Infrastructure Library) – библиотека, содержащая проверенные временем методики и практические рекомендации по управлению ИТ-процессами.

В рамках ITIL важную роль играют службы Help Desk и Service Desk. Help Desk представляет собой базовый уровень поддержки, выполняющий роль единой точки контакта между пользователями и ИТ-службой. Основная задача – оперативное устранение инцидентов и решение проблем пользователей [4]. Service Desk, в отличие от Help Desk, ориентирован не только на решение частных технических проблем, но и на устранение масштабных сбоев, способных повлиять на всю ИТ-инфраструктуру предприятия. Он интегрирует управление инцидентами и запросами, внедрение инструментов самообслуживания, формирование аналитических отчетов и поддержку процессов принятия решений [5].

Сравнительный анализ этих подходов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение Help Desk с Service Desk

Параметр	Help Desk	Service Desk
Цель	Быстрое решение конкретной проблемы	Оптимизация ИТ-процессов и повышение эффективности
Масштаб задач	Ограничен устранением проблем	Охватывает полный цикл ИТ-услуг
Характер работы	Реактивный подход	Проактивный подход
Основная ориентация	На конечного пользователя	На организацию в целом
Уровень интеграции с бизнесом	Минимальный	Высокий, поддержка бизнес-целей компании

Проектирование архитектуры системы

Для моделирования бизнес-процессов диспетчерской службы использовалась методология структурного анализа IDEF0. Представлена контекстная диаграмма A-0 (рис. 1), описывающая процесс планирования работ ОИТ как единое целое.

Входными данными процесса являются: заявка от клиента на проведение технического обслуживания, информация о состоянии средств вычислительной техники (СВТ) и установленного программного обеспечения, приходные накладные на запасные части и инструменты

(ЗИП), закрытые наряды и акты диагностики. Выходными данными служат: акт на списание ЗИП, отчет о выполненных работах, заявка на получение ЗИП и наряд на проведение работ.



Рис. 1. Контекстная диаграмма А-0

Декомпозиция процесса представлена на диаграмме А0 (рис. 2), включающей четыре основных блока: прием и обработка заявок, формирование наряда на диагностику, планирование работ по заявке и формирование отчета.

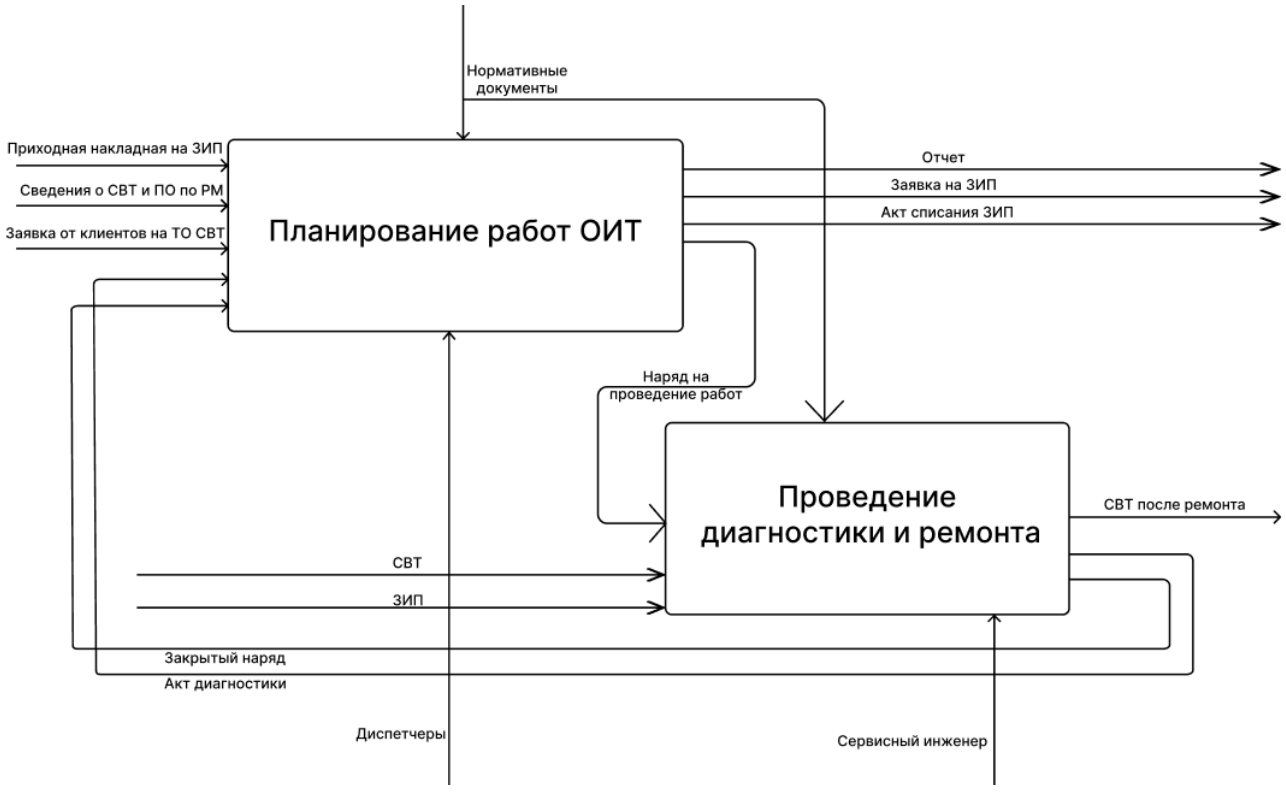


Рис. 2. Диаграмма А0. Планирование работ ОИТ

Для построения сценария информационного процесса использовалась диаграмма IDEF3 (рис. 3), отражающая последовательность действий диспетчера и сервисного инженера при обработке заявки.

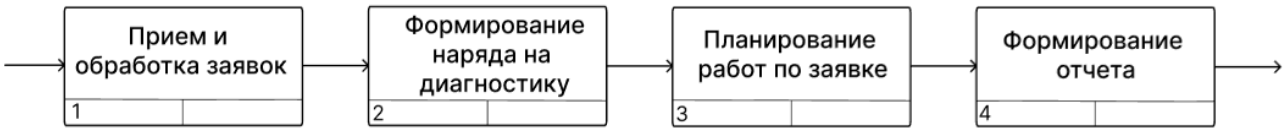


Рис. 3. Сценарий информационного процесса

Формулирование целей и задач системы

Основной целью разработки является повышение эффективности функционирования предприятия за счет улучшения качества работы диспетчеров, что способствует удовлетворенности конечных пользователей оказанными услугами. Достижение цели реализуется за счет увеличения скорости обработки и выполнения заявок, а также снижения издержек.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Прием и обработка заявок;
2. Организация и планирование выполнения работ по заявкам;
3. Формирование отчетной документации.

Представлено дерево целей разрабатываемой системы (рис. 4).

Математическое обеспечение

В проектируемой информационной системе решаются ключевые задачи распределения заявок между сервисными инженерами и расчета времени выполнения заявок.

Распределение заявок между инженерами. Каждая заявка должна быть назначена только одному инженеру, при этом суммарное рабочее время инженера не должно превышать установленной дневной нормы (1):

$$\begin{gathered} \Sigma_{j=1}^{m} x_{ij} = 1, i = \overline{1,n} \\ \Sigma_{i=1}^{n} R_i * x_{ij} \leq T_n, j = \overline{1,m}, \end{gathered} \quad (1)$$

где x_{ij} – бинарная переменная (1, если заявку i выполняет инженер j; 0 – в противном случае); R_i – нормативное время выполнения заявки i; T_n – продолжительность рабочего дня; n – количество заявок; m – количество инженеров.

Расчет длительности выполнения заявки (2):

$$T_i = \Sigma_{R=1}^{k}(t_{iR} * N_i) + t_{\text{дор}}, \quad (2)$$

где t_{iR} – нормативное время на выполнение работы типа R в рамках заявки i; k – общее количество типов работ; N_i – объем работы; $t_{\text{дор}}$ – время на дорогу.

Назначение инженера с минимальной загрузкой (3):

$$j^* = arg\ min_j \Sigma_{i=1}^{n} T_i * x_{ij}. \quad (3)$$

Проектирование базы данных

Концептуальное проектирование базы данных выполнено с использованием метода «сущность-связь». Выделены следующие ключевые сущности: «Заявка клиента», «Статус», «Сервисные инженеры», «Тип неисправности», а также связующая сущность «Сервисные инженеры – тип неисправности» для реализации отношения «многие ко многим».

Логическая модель базы данных приведена к третьей нормальной форме (рис. 5).

Реализация системы

В качестве программной платформы выбрана среда Python с фреймворком Django. Данный выбор обусловлен следующими преимуществами: высокая скорость разработки, встро-

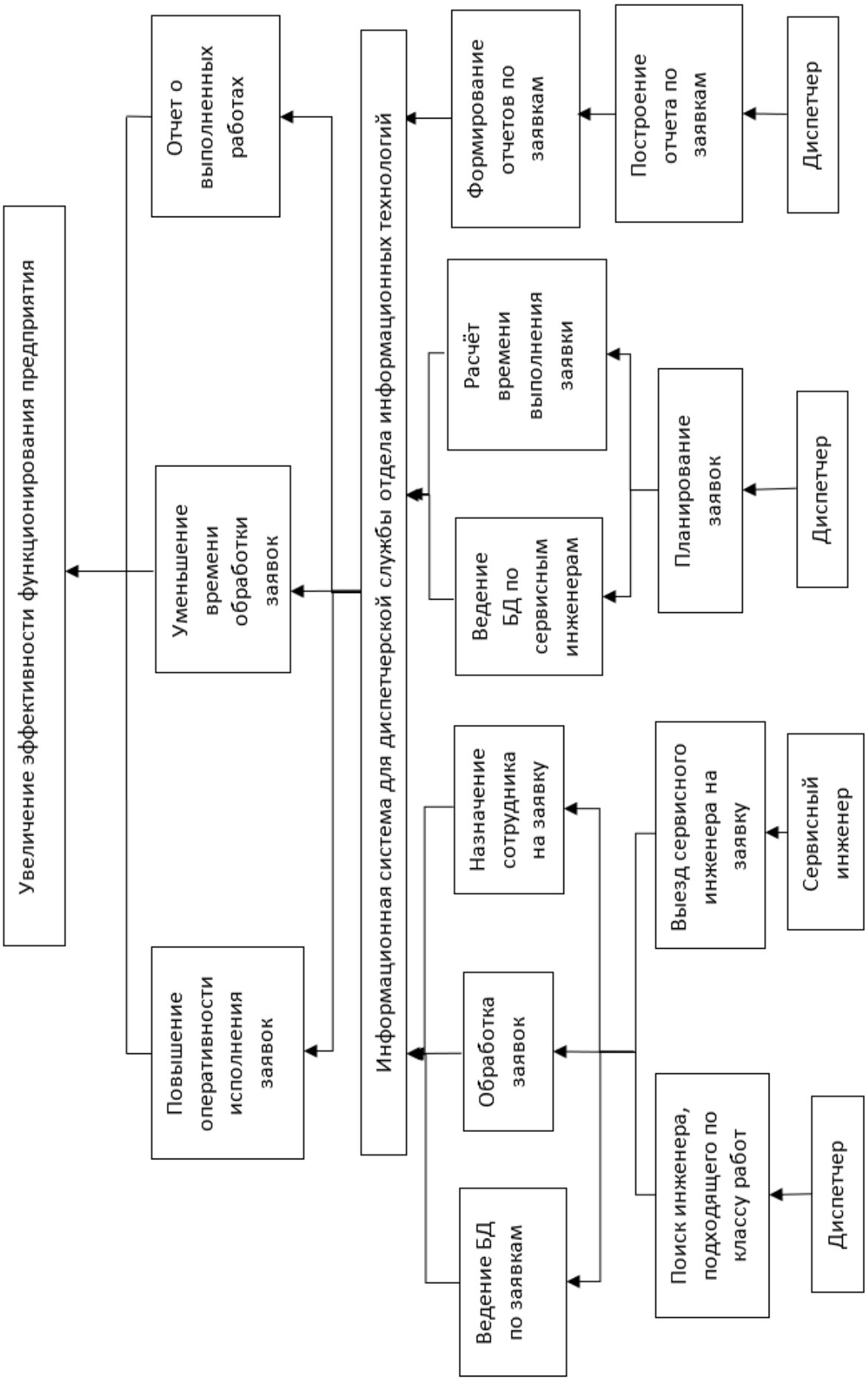


Рис. 4. Дерево целей информационной системы

енная система администрирования, масштабируемость, поддержка различных СУБД и наличие развитой экосистемы. В качестве системы управления базами данных выбрана PostgreSQL.

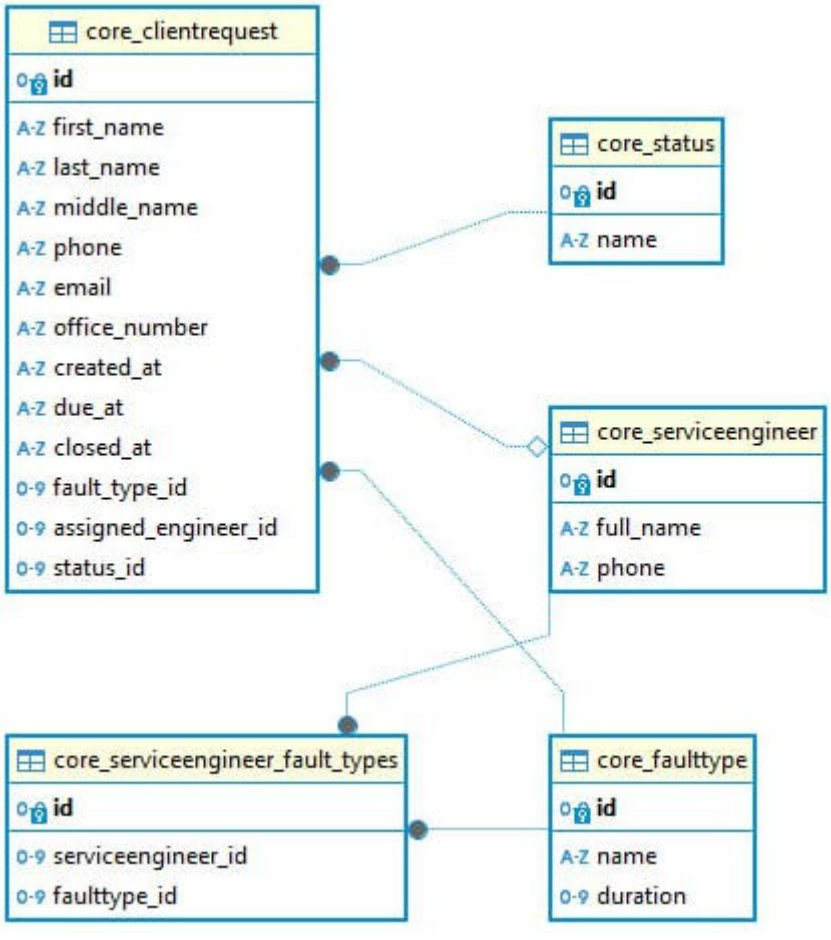


Рис. 5. Логическая модель базы данных

Ключевые функциональные возможности системы включают:
1. Автоматическое назначение инженера по типу неисправности:

```
engineers = ServiceEngineer.objects.filter(fault_types=obj.fault_type)
obj.assigned_engineer = min(engineers, key=lambda e: e.load_time(), default=None)
```

2. Автоматическое присвоение статуса при создании заявки:

```
obj.status = Status.objects.get_or_create(name='Создана')[0]
obj.created_at = timezone.now()
obj.due_at = obj.created_at + timezone.timedelta(minutes=obj.fault_type.duration)
```

3. Формирование отчета по средней длительности выполнения заявок:

```
durations = requests.annotate(
   duration=ExpressionWrapper(
      F('closed_at') – F('created_at'),
      output_field=DurationField()
   )
)
```

Разработанный пользовательский интерфейс обеспечивает:
– подачу заявок клиентами через главную страницу;
– авторизацию диспетчеров и администраторов;
– панель управления заявками с фильтрацией по дате;
– управление справочниками (сервисные инженеры, типы неисправностей, статусы);

– формирование отчетности;
– административную панель для управления пользователями и правами доступа.
Примеры реализованных интерфейсных решений (рис. 6-9):

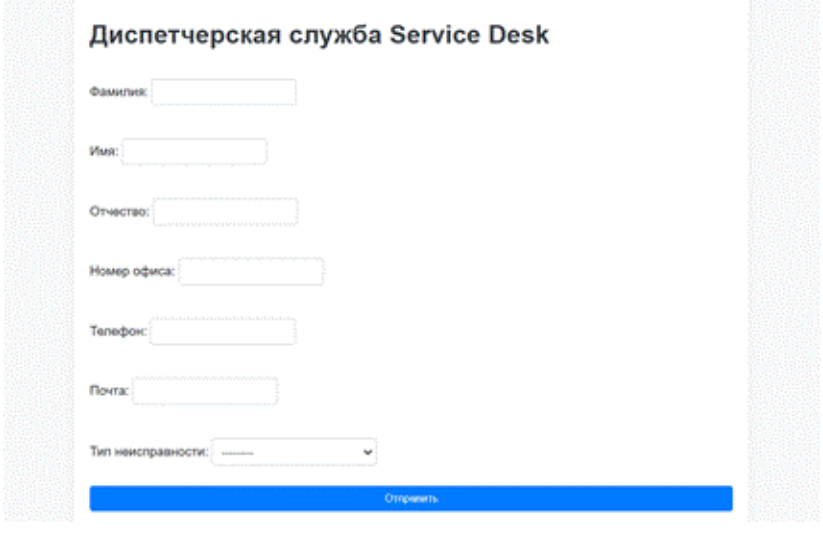


Рис. 6. Главная страница системы

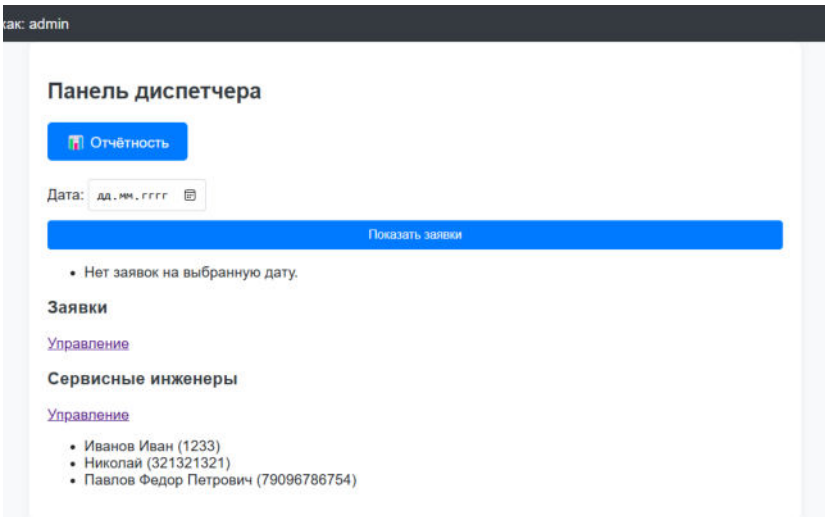


Рис. 7. Панель диспетчера

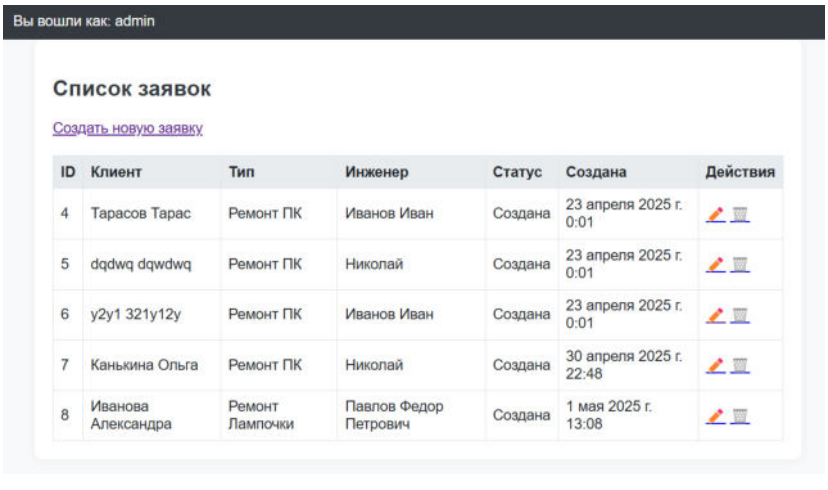


Рис. 8. Список заявок

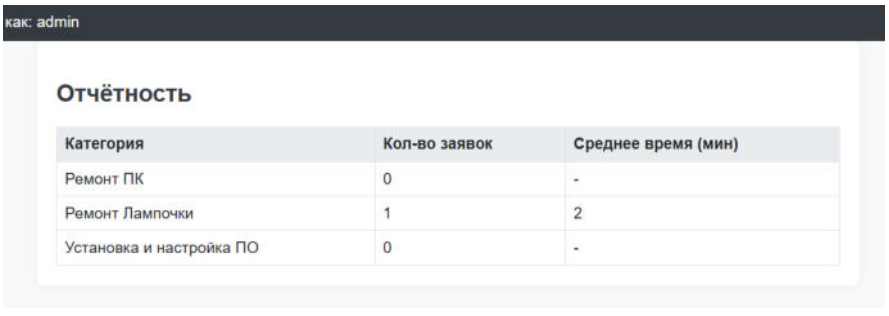


Рис. 9. Отчетность

Технические требования к системе

Для обеспечения бесперебойной работы системы необходимы следующие технические характеристики:

– Процессор: четырехъядерный с тактовой частотой не ниже 1,6 ГГц;
– Оперативная память: не менее 8 ГБ;
– Хранилище данных: не менее 100 ГБ свободного пространства;
– Операционная система: 64-разрядная Windows 10/11 или Ubuntu 20.04 LTS;
– Наличие установленного веб-браузера и стабильного подключения к сети.

Заключение

В результате разработана информационная система для диспетчерской службы отдела информационных технологий предприятия. В ходе реализации:

1. Проведен анализ предметной области и существующих подходов к организации технической поддержки;
2. Сформулированы цели и задачи создаваемой системы;
3. Разработан технологический процесс обработки данных с использованием методологий IDEF0 и IDEF3;
4. Выполнено концептуальное и логическое проектирование реляционной базы данных;
5. Разработаны алгоритмы решения задач распределения заявок и расчета времени выполнения;
6. Реализован прототип системы на платформе Django с использованием СУБД PostgreSQL.

Внедрение разработанной информационной системы позволит:

– повысить оперативность обработки заявок на 30-40%;
– обеспечить автоматическое распределение задач между сервисными инженерами;
– сократить время выполнения заявок за счет оптимального планирования;
– обеспечить прозрачность управления заявками на всех этапах;
– формировать аналитическую отчетность для поддержки принятия управленческих решений.

Дальнейшее развитие системы может включать интеграцию с корпоративными системами, внедрение мобильного приложения для сервисных инженеров, использование методов машинного обучения для прогнозирования загрузки и предиктивного обслуживания оборудования.

Список литературы

1. Котухов Е. Обзор рынка ITSM/ESM-систем 2026: анализ лидеров – по внедрению, кастомизации и ценам [Электронный ресурс] // Habr. – 2026. – URL: https://habr.com/ru/companies/simpleone/articles/996184/ (дата обращения: 12.07.2026).

2. Шинкаренко Е.В., Долгова Т.Г. Служба технической поддержки ServiceDesk [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – URL: https://

cyberleninka.ru/article/n/sluzhba-tehnicheskoy-podderzhki-servicedesk (дата обращения: 19.07.2026).

3. Аллен Г. Тейлор SQL для чайников. – М.: Диалектика, Вильямс, 2019. – 416 с.

4. Бейликова А., Домбровская Г., Новиков Б. Оптимизация запросов в PostgreSQL: полное руководство по созданию эффективных запросов – Москва: ДМК Пресс, 2022. – 279 с.

5. Зарайский С.А., Осипова А.Л., Суздальцев В.А. Основы проектирования автоматизированных систем: учебное пособие по курсовому проектированию. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – 103 с.

6. Ahmad I., Abbas A. Predictive Maintenance using Machine Learning // IEEE Transactions on Engineering Management. – 2025. – Vol. 72. – P. 120-130.

УДК 004.891; 004.934

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ИЗ АУДИОЗАПИСЕЙ СОВЕЩАНИЙ: КАСКАДНАЯ МУЛЬТИМЕТОЧНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ

Кононов Е.В., магистрант Института информационных технологий и интеллектуальных систем ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: EVKononov@kpfu.ru

AUTOMATED REQUIREMENTS FOR THE EXTRACTION FROM MEETING AUDIO RECORDINGS: CASCADED MULTILABEL CLASSIFICATION AND SPEECH RECOGNITION

Kononov E.V., Master's student, Institute of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
E-mail: EVKononov@kpfu.ru

Аннотация

Рассматривается задача автоматического извлечения требований к программному обеспечению из русскоязычных аудиозаписей совещаний. Предложен сквозной пайплайн, включающий автоматическое распознавание речи моделью GigaAM-v3, сегментацию транскрипции, каскадную мультиметочную классификацию двумя независимыми классификаторами на базе ruBERT, дополнительный анализ фрагментов класса «Прочее» большой языковой моделью и семантическую дедупликацию результатов. Классификатор верхнего уровня выделяет функциональные требования, бизнес-требования и нерелевантные фрагменты, а классификатор нефункциональных подклассов типизирует нефункциональные требования по одиннадцати подклассам таксономии PROMISE. Практическая применимость подхода оценивалась на текстовой выборке и синтетическом аудионаборе, а также при ручной оценке результатов на полноразмерных записях совещаний. На текстовой выборке каскад классификаторов достигает F1-micro = 0,936, а на синтетическом аудионаборе из 140 файлов – 0,876.

Ключевые слова: инженерия требований; извлечение требований; аудиозапись совещания; распознавание речи; GigaAM; ruBERT; мультиметочная классификация; каскадная модель; большая языковая модель

Abstract

This paper addresses the automatic extraction of software requirements from Russian-language meeting audio recordings. An end-to-end pipeline is proposed that combines speech recognition

with GigaAM-v3, transcript segmentation, cascaded multilabel classification with two independent ruBERT-based classifiers, additional analysis of fragments labeled as “Other” by a large language model, and semantic deduplication of the final results. The top-level classifier identifies functional requirements, business requirements, and irrelevant fragments, while the second classifier assigns non-functional requirements to eleven subclasses of the PROMISE taxonomy. The practical applicability of the approach was evaluated on a text dataset, a synthetic audio dataset, and manually assessed full-length meeting recordings. On a text dataset, the cascaded classifiers achieve F1-micro = 0.936, while on a synthetic audio dataset of 140 files the end-to-end pipeline achieves 0.876.

Keywords: requirements engineering; requirements extraction; meeting audio; speech recognition; GigaAM; ruBERT; multilabel classification; cascaded model; large language model

Введение

Фиксация требований к программному обеспечению на совещаниях остаётся распространённой практикой: устная форма ускоряет согласование, но затрудняет последующую трассировку, оценку полноты и формализацию спецификаций [1, 2]. Ручная расшифровка трудоёмка, субъективна и ограниченно применима на больших проектах.

Автоматизация задачи требует решения двух проблем: устойчивого распознавания русской речи в условиях шумных совещаний и классификации фрагментов с выделением нерелевантного контента.

Для англоязычных датасетов и письменных спецификаций задачи классификации требований активно исследуются с применением трансформеров [3, 4]. Однако прямой перенос таких моделей на русскоязычную устную речь невозможен: модели, обученные на письменных технических заданиях, как правило, не учитывают класс «не требование» и не рассчитаны на разговорную лексику и незавершённые конструкции устной речи.

Целью работы является разработка сквозного пайплайна извлечения и классификации требований из русскоязычных аудиозаписей совещаний с каскадными мультиметочными классификаторами на базе ruBERT и распознаванием речи моделью GigaAM, а также последующая оценка его качества на текстовых и аудиоданных.

1. Обзор смежных исследований

Задача автоматической классификации требований к программному обеспечению активно исследуется с середины 2000-х годов. В качестве базовых подходов в задачах классификации требований рассматриваются классические методы машинного обучения, включая признаки TF-IDF (term frequency-inverse document frequency) и классификаторы на основе метода опорных векторов (SVM) [5]. Существенный рост качества был достигнут с появлением предобученных трансформерных моделей: Hey et al. [3] показали эффективность дообучения BERT для разделения функциональных и нефункциональных требований, а Sabir et al. [6] продемонстрировали преимущества мультиметочной классификации при работе с несбалансированными подклассами нефункциональных требований. Однако существующие исследования преимущественно ориентированы на письменные спецификации и не учитывают нерелевантные фрагменты устной речи.

Русскоязычные модели семейства ruBERT [7] в инженерии требований используются редко из-за отсутствия открытых русскоязычных корпусов.

В области автоматического распознавания речи высокие результаты демонстрируют модели Whisper [8] и GigaAM [9]. При этом большинство исследований в области NLP для инженерии требований сосредоточено на анализе текстовых артефактов, тогда как сквозная обработка аудиозаписей совещаний остаётся слабо изученным направлением [10].

2. Постановка задачи и обзор подхода

На вход системы поступает аудиозапись совещания произвольной длины. Требуется сформировать структурированное множество извлечённых фрагментов, каждый из которых описывается временным интервалом, текстом высказывания и мультиметочной разметкой.

Задача декомпозируется на шесть последовательных подзадач:

1. Транскрипция аудио с автоматической расстановкой пунктуации моделью GigaAM (ревизия e2e_rnnt);
2. Сегментация на предложения;
3. Каскадная классификация с помощью двух моделей на базе ruBERT;
4. Анализ фрагментов класса «Прочее» большой языковой моделью;
5. Семантическое объединение дублирующих высказываний на основе векторной близости;
6. Экспорт отчета в табличном и текстовом форматах (XLSX/DOCX) для передачи аналитику.

3. Датасет для дообучения классификаторов и схема меток

Открытые датасеты PROMISE и PURE [11, 12] приводились к единой схеме разметки по-разному: PROMISE использовался без изменений разметки, тексты лишь переводились на русский язык; PURE извлекался XML-парсером [13], после чего размечался с помощью LLM и проверялся вручную. Оба датасета дополнялись синтетическими примерами для балансировки редких классов и реальными техническими заданиями, как оформленными по ГОСТ, так и в упрощённой форме. Итоговый корпус содержит 12 032 записи с двухуровневой мультиметочной схемой [14]. Баланс классов в итоговом датасете представлен на рис. 1.

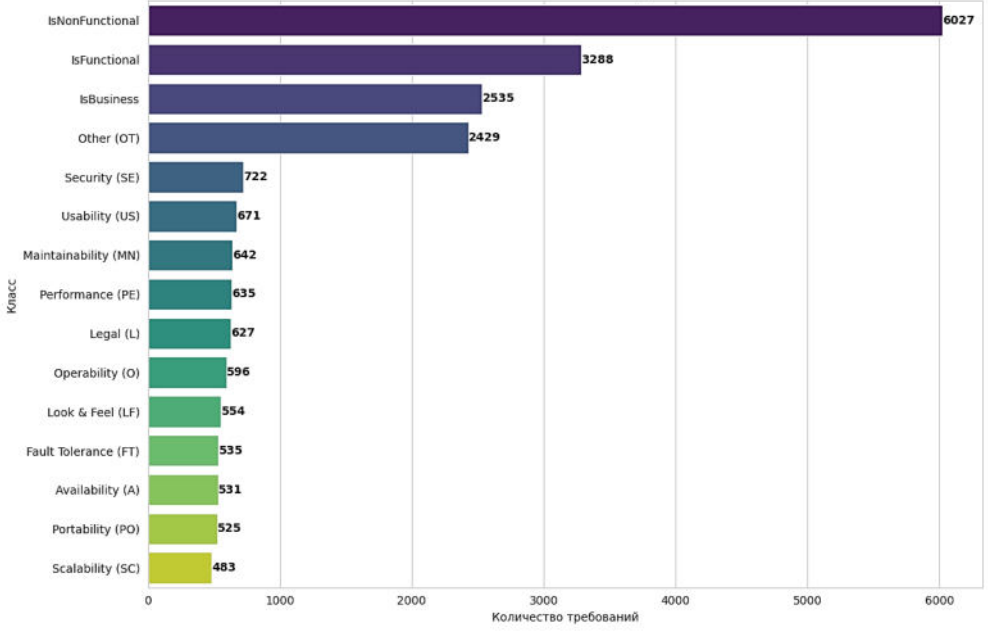


Рис. 1. Баланс классов в датасете

На верхнем уровне определяются три обучаемых класса: IsFunctional, IsBusiness и Other; класс IsNonFunctional является производным и вычисляется автоматически как дизъюнкция активных меток нефункциональных подклассов. Это решение устраняет искусственный дисбаланс, поскольку при явной разметке класс IsNonFunctional доминировал бы по числу примеров. Уровень нефункциональных подклассов детализирует нефункциональные требования по одиннадцати подклассам таксономии PROMISE.

Мультиметочность допускает совместное присутствие функциональной, нефункциональной и бизнес-семантики в одном фрагменте; единственное запрещённое сочетание – Other совместно с любой содержательной меткой.

4. Каскадные классификаторы на базе ruBERT

Для двух уровней классификации используются независимые мультиметочные классификаторы на базе ruBERT-base-cased [15] с линейными головами над представлением специ-

ального классификационного токена CLS, с сигмоидной активацией и функцией потерь бинарной кросс-энтропии. Обучение проводилось на стратифицированных выборках: для классов верхнего уровня – 10 208 обучающих и 1 802 тестовых примеров, для нефункциональных подклассов – 5 067 и 875 соответственно.

Качество каждой модели оценивалось по метрике F1-micro на валидации; полученные значения составили 0,966 для классификатора верхнего уровня и 0,896 для классификатора нефункциональных подклассов. Итоговая сквозная оценка каскада на тестовой выборке достигла F1-micro = 0,936 и F1-macro = 0,913 (рис. 2), что отражает ожидаемое снижение качества по сравнению с отдельными классификаторами. Также для каждой метки эмпирически подбирался индивидуальный порог решения, максимизирующий F1.

	precision	recall	f1-score	support
IsFunctional	0.938	0.959	0.949	491
IsBusiness	0.934	0.972	0.952	391
Other (OT)	0.997	0.987	0.992	381
Availability (A)	0.960	0.867	0.911	83
Fault Tolerance (FT)	0.938	0.910	0.924	67
Legal (L)	0.940	0.804	0.867	97
Look & Feel (LF)	0.960	0.857	0.906	84
Maintainability (MN)	0.775	0.809	0.791	68
Operability (O)	1.000	0.835	0.910	91
Performance (PE)	0.933	0.933	0.933	104
Portability (PO)	0.960	0.889	0.923	81
Scalability (SC)	1.000	0.973	0.986	75
Security (SE)	0.883	0.899	0.891	109
Usability (US)	0.871	0.831	0.851	89
micro avg	0.943	0.929	0.936	2211
macro avg	0.935	0.895	0.913	2211
weighted avg	0.944	0.929	0.936	2211
samples avg	0.949	0.946	0.944	2211

Сводные метрики пайплайна:
F1 micro: 0.9362
F1 macro: 0.9133
F1 weighted: 0.9358

Рис. 2. Метрики каскада классификаторов

5. Аудиопайплайн: GigaAM, постобработка и экспорт

Аудиоданные предварительно нормализуются для согласования с требованиями модели распознавания речи. Для транскрипции используется GigaAM-v3 (ревизия e2e_rnnt), обеспечивающая автоматическую расстановку пунктуации и снижение ошибок сегментации последующих этапов.

Полученный текст разбивается на предложения, которые последовательно подаются в каскад классификаторов. Фрагменты, отнесённые к классу Other, дополнительно анализируются большой языковой моделью для выявления скрытых или неявно выраженных требований.

Избыточность устраняется семантической агрегацией по косинусному сходству векторных представлений фрагментов, полученных с помощью моделей семейства sentence-transformers, после чего результаты объединяются и структурируются по классам с сохранением временных меток. Итоговые данные экспортируются в форматы XLSX и DOCX для последующей аналитической обработки.

6. Экспериментальная оценка

6.1. Синтетический набор аудио

Для контролируемой сквозной оценки пайплайна сформирован синтетический набор аудио из 140 файлов на основе озвучивания текстов обучающего датасета с сохранением ис-

ходной мультиметочной разметки. Это позволяет изолировать ошибки ASR и оценить деградацию качества при переходе от текста к аудио.

На данном наборе достигнуты значения F1-micro = 0,876 и F1-macro = 0,876 по 14 классам (рис. 3). Полученные результаты демонстрируют ожидаемое снижение качества относительно текстового режима из-за ошибок транскрипции и вариативности речевых формулировок.

	precision	recall	f1-score	support
IsFunctional	0.852	0.885	0.868	26
IsBusiness	1.000	0.880	0.936	25
Other (OT)	1.000	0.900	0.947	10
Availability (A)	0.667	0.909	0.769	11
Fault Tolerance (FT)	0.833	0.769	0.800	13
Legal (L)	0.833	0.833	0.833	12
Look & Feel (LF)	0.909	0.833	0.870	12
Maintainability (MN)	0.750	0.750	0.750	12
Operability (O)	0.900	0.818	0.857	11
Performance (PE)	0.647	0.917	0.759	12
Portability (PO)	1.000	0.900	0.947	10
Scalability (SC)	1.000	0.900	0.947	10
Security (SE)	0.900	0.818	0.857	11
Usability (US)	0.667	0.857	0.750	14
micro avg	0.839	0.857	0.848	189
macro avg	0.854	0.855	0.849	189
weighted avg	0.858	0.857	0.853	189
samples avg	0.846	0.896	0.857	189

F1 micro: 0.8482
F1 macro: 0.8494
F1 weighted: 0.8526

МЕТРИКИ ТРАНСКРИПЦИИ (GigaAM ASR)

WER (Word Error Rate): 0.1701 (17.01%)
CER (Char Error Rate): 0.0513 (5.13%)

Рис. 3. Метрики качества пайплайна на синтетическом аудио-корпусе

6.2. Полноразмерные записи и ручная оценка

Далее была проведена ручная оценка качества на трёх типах аудиозаписей, различающихся степенью приближения к реальным условиям.

В сценарии с шаблонной живой речью (линейные формулировки без шумов и помех) классификатор демонстрирует высокую уверенность (90–100 %) и допускает 3 ошибки на 26 предложений. В сценарии с диалогом, имитирующим взаимодействие заказчика и аналитика, зафиксировано 4 ошибки на 56 предложений. В условиях реального технического совещания с шумами и минимальной долей требований (обсуждение функциональности текущего состояния системы (AS-IS)) из 125 предложений 110 корректно отнесены к классу Other, 10 – к требованиям, 5 – ошибочно классифицированы как требования.

Полученные результаты показывают, что основным источником деградации качества является рост доли нерелевантных и слабо структурированных реплик: в реальных условиях модель склонна к ложноположительным срабатываниям на технические обсуждения, что частично компенсируется LLM-постобработкой, но полностью не устраняется.

Заключение

Предложен сквозной пайплайн извлечения требований к ПО из русскоязычных аудиозаписей совещаний, объединяющий автоматическое распознавание речи (ASR) на базе GigaAM-v3 (ревизия e2e_rnnt), каскадную мультиметочную классификацию ruBERT с двухуровневой схемой меток, LLM-постобработку фрагментов класса Other, семантическую дедупликацию и экспорт результатов в форматы XLSX/DOCX [16].

На текстовой выборке достигнуты значения F1-micro = 0,936 и F1-macro = 0,913, на синтетическом аудиокорпусе из 140 записей – F1-micro и F1-macro 0,876.

Ручная оценка на трёх типах аудиосценариев подтверждает работоспособность подхода в контролируемых условиях и выявляет снижение качества в шумных обсуждениях с низкой долей требований.

Дальнейшие исследования будут направлены на расширение корпуса реальными транскрипциями совещаний и адаптацию моделей к доменно-специфической разговорной речи и терминологии предметной области.

Список литературы

1. Meth H., Brhel M., Maedche A. The state of the art in automated requirements elicitation // Information and Software Technology. – 2013. – Т. 55. – №. 10. – С. 1695-1709.

2. Spijkman T., Dalpiaz F., Brinkkemper S. Back to the roots: Linking user stories to requirements elicitation conversations // 2022 IEEE 30th International Requirements Engineering Conference (RE). – IEEE, 2022. – С. 281-287.

3. Hey T. et al. NoRBERT: Transfer learning for requirements classification // 2020 IEEE 28th international requirements engineering conference (RE). – IEEE, 2020. – С. 169-179.

4. Devlin J. et al. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding // NAACL. – 2019. – С. 4171-4186.

5. Tóth L., Vidács L. Comparative study of the performance of various classifiers in labeling non-functional requirements // Information Technology and Control. – 2019. – Т. 48. – №. 3. – С. 432-445.

6. Sabir M., Chrysoulas C., Banissi E. Multi-label classifier to deal with misclassification in non-functional requirements // World Conference on Information Systems and Technologies. – Cham : Springer International Publishing, 2020. – С. 486-493.

7. Kuratov Y., Arkhipov M. Adaptation of deep bidirectional multilingual transformers for Russian language // arXiv preprint arXiv:1905.07213. – 2019.

8. Radford A. et al. Robust speech recognition via large-scale weak supervision // International conference on machine learning. – PMLR, 2023. – С. 28492-28518.

9. GigaAM-v3. URL: https://huggingface.co/ai-sage/GigaAM-v3 (дата обращения: 03.05.2026).

10. Zhao L. et al. Natural language processing for requirements engineering: A systematic mapping study // ACM Computing Surveys (CSUR). – 2021. – Т. 54. – №. 3. – С. 1-41.

11. Ferrari A., Spagnolo G. O., Gnesi S. PURE: A dataset of public requirements documents // 2017 IEEE 25th international requirements engineering conference (RE). – IEEE, 2017. – С. 502-505.

12. Cleland-Huang J. et al. The detection and classification of non-functional requirements with application to early aspects // 14th IEEE international requirements engineering conference (RE'06). – IEEE, 2006. – С. 39-48.

13. PURE XML parser. URL: https://github.com/EternalGeniuz/diploma_project/blob/master/utils/pure_xml_parser.py (дата обращения: 15.02.2026).

14. RequirementsDataset-RU. URL: https://huggingface.co/datasets/eternalGenius/RequirementsDataset-RU (дата обращения: 15.02.2026).

15. RuBERT-base-cased. URL: https://huggingface.co/DeepPavlov/rubert-base-cased (дата обращения: 03.05.2026).

16. Кононов Е. В. Ноутбук разработки датасета и аудиопайплайна. URL: https://drive.google.com/file/d/1xSUtewiXergnWS5jzej-70ycQOHVwuLH/view (дата обращения 02.05.2026).

УДК 004

ПОСТРОЕНИЕ СБАЛАНСИРОВАННОГО РУССКОЯЗЫЧНОГО КОРПУСА ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДЛЯ МУЛЬТИМЕТОЧНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Кононов Е.В., магистрант Института информационных технологий и интеллектуальных систем ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: EVKononov@kpfu.ru

BUILDING A BALANCED RUSSIAN-LANGUAGE SOFTWARE REQUIREMENTS CORPUS FOR MULTILABEL CLASSIFICATION

Kononov E.V., Master's student, Institute of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
E-mail: EVKononov@kpfu.ru

Аннотация

В статье рассматривается построение сбалансированного русскоязычного корпуса требований к программному обеспечению, предназначенного для обучения многоуровневых мультиметочных классификаторов в задачах автоматизированного извлечения требований из документов и транскрипций совещаний. Проведён анализ открытых датасетов PROMISE, PURE, NFR Dataset и SecReq, показавший их неприменимость в исходном виде вследствие англоязычности, отсутствия классов бизнес-требований и нерелевантных фрагментов, а также дисбаланса редких нефункциональных подклассов. Предложена итеративная методика формирования корпуса, объединяющая перевод и интеграцию открытых источников, полуавтоматическую LLM-разметку, генерацию синтетических примеров и включение реальных технических заданий. Итоговый корпус содержит 12 032 записи с двухуровневой схемой меток и сбалансированным распределением классов требований. Практическая применимость сформированного корпуса была продемонстрирована на задаче обучения каскадного мультиметочного классификатора на базе ruBERT, достигшего F1-micro 0.936 и F1-macro 0.913.

Ключевые слова: корпус требований, инженерия требований, мультиметочная классификация, мультиметочная разметка, генерация синтетических данных, большие языковые модели, балансировка классов, BERT, ruBERT

Abstract

This paper describes the development of a balanced Russian-language corpus of software requirements for training hierarchical multi-label classifiers used in automated extraction of requirements from documents and meeting transcripts. Existing public datasets, including PROMISE, PURE, NFR Dataset, and SecReq, were found unsuitable for direct use due to English-only content, missing business requirement categories, irrelevant fragments, and class imbalance.

An iterative corpus construction approach was proposed, combining translation of open datasets, semi-automatic LLM-based annotation, synthetic data generation, and integration of real technical specifications. The final corpus contains 12,032 annotated entries organized within a two-level multi-label taxonomy.

The practical applicability of the corpus was evaluated in the task of training a cascaded multi-label classifier based on ruBERT, which achieved F1-micro 0.936 and F1-macro 0.913.

Keywords: requirements corpus, requirements engineering, multilabel text classification, synthetic data generation, large language models, class imbalance, BERT, ruBERT

Введение

Категоризация требований к программному обеспечению на функциональные, нефункциональные и другие типы является одной из базовых задач инженерии требований [1, 2]. В последние годы для автоматического извлечения и классификации требований активно применяются предобученные языковые модели [3, 4].

На практике требования встречаются в источниках разной степени структурированности: формализованных ТЗ по ГОСТ, упрощённых продуктовых ТЗ и транскрипциях рабочих совещаний. Это требует устойчивости моделей одновременно к официально-деловому и разговорному стилям.

Существующие открытые датасеты требований [5–7] ограниченно применимы для задачи: они содержат преимущественно англоязычные тексты, не включают классы бизнес-требований и нерелевантных фрагментов, а также обладают дисбалансом редких нефункциональных подклассов.

Целью работы является построение сбалансированного русскоязычного корпуса требований к ПО для обучения многоуровневых мультиметочных классификаторов. Для этого предложен итеративный подход формирования корпуса, объединяющий перевод и интеграцию открытых датасетов, LLM-разметку, генерацию синтетических данных и включение реальных технических заданий. В результате сформирован корпус объёмом около 12 тыс. записей с двухуровневой мультиметочной схемой, пригодность которого для обучения классификаторов требований была продемонстрирована экспериментально на модели ruBERT.

Основным вкладом работы является итеративная методика инженерии русскоязычного корпуса требований, ориентированная на практическое использование в условиях неоднородных источников данных, ограниченности размеченных примеров и необходимости адаптации к различным стилям формулирования требований.

1. Анализ существующих датасетов

PROMISE является наиболее распространённым корпусом требований с разметкой функциональных и нефункциональных категорий, включающей 11 подклассов нефункциональных требований [5]. В настоящей работе его схема меток использовалась как основа. PURE содержит требования из публичных спецификаций ПО для 18 систем [6], однако не имеет готовой разметки и требует дополнительного аннотирования.

Датасеты NFR Dataset и SecReq рассматривались как источники расширения редких классов, но не были включены, так как NFR имеет небольшой объём и частично пересекается с PROMISE, а SecReq чрезмерно смещён в сторону требований информационной безопасности [7].

Таким образом, существующие открытые датасеты неприменимы в исходном виде из-за англоязычности, отсутствия классов бизнес-требований и нерелевантных фрагментов, а также дисбаланса нефункциональных подклассов.

2. Схема меток корпуса

Для обеспечения пригодности корпуса была разработана двухуровневая схема разметки. На верхнем уровне используются три аннотируемые метки: IsFunctional, IsBusiness и Other. Метка IsNonFunctional в итоговой версии корпуса отдельно не аннотируется, а вычисляется автоматически по наличию хотя бы одного нефункционального подкласса. Второй уровень разметки включает детализированные подклассы нефункциональных требований: Availability, Fault Tolerance, Legal, Look & Feel, Maintainability, Operability, Performance, Portability, Scalability, Security и Usability.

Разметка корпуса допускает мультиметочность: один и тот же фрагмент может одновременно быть функциональным, содержать нефункциональные аспекты или сочетать бизнес- и функциональную составляющие. Такая постановка отражает реальную практику формулирования требований, в которой различные аспекты нередко объединяются в одном предложении или абзаце.

Таблица 1

Правила совместимости меток

Правило	Описание
IsFunctional + нефункциональный подкласс	Допускается: функциональное требование может содержать нефункциональные ограничения
IsBusiness + нефункциональный подкласс	Допускается: бизнес-требование может включать нефункциональные аспекты
IsFunctional + IsBusiness	Допустимо в случае совмещённых формулировок
Other + любая содержательная метка	Не допускается

В итоговой версии метка IsNonFunctional не аннотируется как самостоятельный класс верхнего уровня. Вместо этого она вычисляется автоматически как дизъюнкция всех активных меток нефункциональных подклассов. Такое решение обусловлено тем, что IsNonFunctional является производной характеристикой: если у записи активен хотя бы один нефункциональный подкласс, запись автоматически относится к нефункциональным требованиям. Пилотные эксперименты показали, что включение IsNonFunctional приводит к избыточности, поскольку эта метка детерминируется структурой второго уровня, и дисбалансу классов верхнего уровня.

3. Методика формирования корпуса

Формирование корпуса осуществлялось итеративно параллельно с разработкой прикладных пайплайнов автоматизированного извлечения требований из документов и транскрипций совещаний. На каждом этапе классификаторы, обученные на текущей версии корпуса, тестировались на реальных входных данных, что позволяло выявлять ограничения корпуса в условиях, приближённых к практическому использованию. Каждая последующая итерация была направлена на устранение недостатков, обнаруженных на предыдущем этапе.

3.1. Итерация I: объединение открытых датасетов и базовая разметка

На первой итерации выполнялись перевод и приведение открытых источников к единой схеме разметки. Данные PROMISE использовались без структурных изменений, а записи PURE были извлечены XML-парсером [8] и размечены с помощью LLM и ручной проверки. После этого тексты требований были переведены на русский язык с сохранением технической терминологии.

Поскольку открытые датасеты не содержали классов бизнес-требований и нерелевантных фрагментов, категории IsBusiness и Other были сгенерированы синтетически с использованием нескольких LLM разных семейств (Grok 4, Claude Sonnet 4.6, DeepSeek-V3). Для класса IsBusiness был сформулирован специализированный системный промпт, ориентирующий LLM на генерацию реалистичных бизнес-требований. Промпт включал схему меток, правила мультиметочной разметки, требования к разнообразию предметных областей, а также требования к равномерному распределению примеров по 4 категориям: KPI и бизнес-метрики (чистые бизнес-требования); SLA, операционные ограничения и мониторинг; функциональные бизнес-требования.

Для класса Other (OT) также была проведена целенаправленная генерация. Особое внимание уделялось созданию типичных нерелевантных фрагментов, внешне напоминающих требования: организационных реплик, переходных фраз, обсуждения текущего состояния системы, определений терминов, ссылок на другие разделы и пожеланий без конкретики. Этот класс был необходим для повышения устойчивости модели к нерелевантным фрагментам и шумовым конструкциям.

Генерация примеров с помощью LLM выполнялась в полуавтоматическом режиме с последующей экспертной проверкой.

В результате были сформированы 753 записи. Анализ распределения показал выраженный дисбаланс подклассов нефункциональных требований, что потребовало дополнительного расширения редких категорий на следующем этапе.

3.2. Итерация II: направленная синтетическая балансировка

Попытка аугментации данных с помощью автоматического LLM-перефразирования (модель Qwen2.5-0.5B-Instruct) была признана неэффективной из-за низкого разнообразия получаемых текстов. Вместо этого редкие классы расширялись путём направленной генерации примеров с использованием нескольких LLM; целевые объёмы составляли около 2000 записей на класс верхнего уровня и около 500 записей на каждый нефункциональный подкласс. Целевые объёмы классов были определены эмпирически, дополнительно ориентируясь на результаты исследования Sun et al. [9].

На этой же итерации схема разметки была изменена: метка IsNonFunctional исключена из обучения классификатора верхнего уровня и стала выводиться автоматически по наличию активных нефункциональных подклассов. Это позволило снизить дисбаланс между классами верхнего уровня.

В результате объём корпуса был увеличен до 9820 записей. Тестирование показало приемлемое качество на данных аудиотранскрипций, однако при обработке документов качество классификации оставалось недостаточным.

3.3. Итерация III: включение реальных технических заданий

Низкое качество классификации на документных данных было связано с недостаточной представленностью как формализованных конструкций ТЗ по ГОСТ, так и упрощённых формулировок, характерных для продуктовой разработки. Для устранения этого ограничения в корпус были добавлены технические задания, оформленные по ГОСТ, полученные с портала государственных закупок, а также упрощённые продуктовые ТЗ, взятые из личного рабочего архива. Добавление реальных технических заданий было направлено на снижение доменного смещения между синтетическими данными и документами из практических сценариев эксплуатации.

Документы, оформленные по ГОСТ, размечались полуавтоматически с использованием LLM, а продуктовые ТЗ вручную. Ручная разметка упрощённых продуктовых ТЗ одновременно служила дополнительной экспертной оценкой согласованности автоматической разметки. Существенных систематических расхождений между ручной и полуавтоматической разметкой не выявлено; это косвенно свидетельствует о приемлемой согласованности применённого LLM-аннотирования.

По итогам третьей итерации объём корпуса составил 12 032 записи [10]; дополнительная балансировка классов не потребовалась.

Предложенный подход допускает динамическое расширение корпуса. Новые примеры могут итеративно добавляться на основе ошибок классификаторов, возникающих при обработке ранее не встречавшихся доменов, форматов документов и особенностей речевых транскрипций. Это позволяет адаптировать корпус и модели к изменяющимся условиям эксплуатации и снижать деградацию качества на новых типах данных.

4. Характеристики итогового корпуса

Итоговое распределение обучаемых классов верхнего уровня можно считать близким к сбалансированному: разброс между классами IsFunctional, IsBusiness и Other не превышает 26%.

Распределение нефункциональных подклассов варьируется от 483 до 722 записей, при этом отношение максимального объёма к минимальному составляет около 1,5, что соответствует приемлемому уровню баланса.

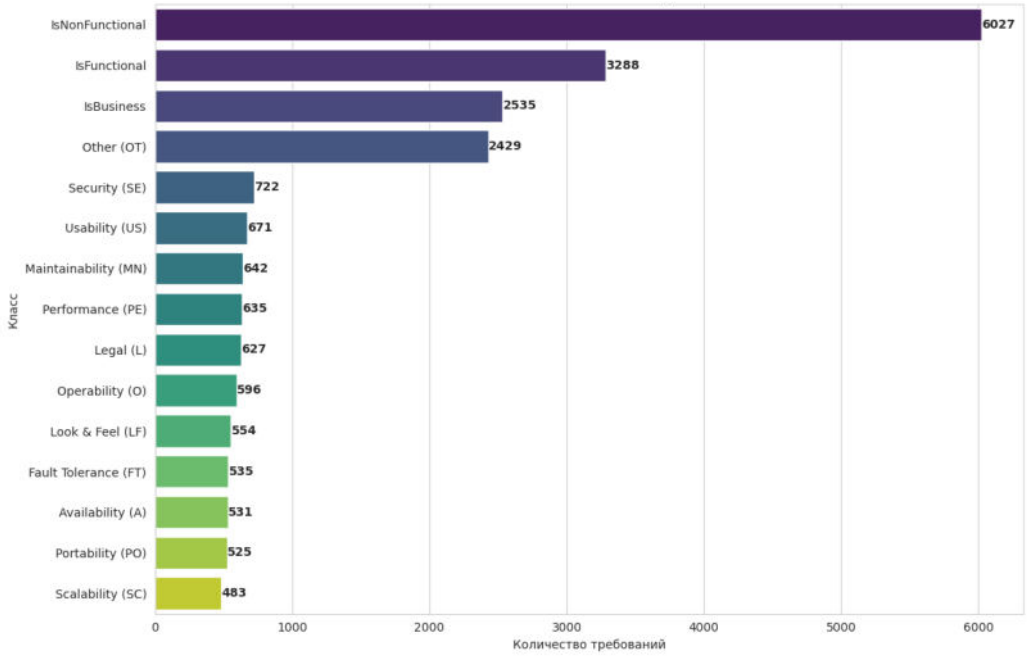


Рис. 1. Баланс классов в итоговом датасете

Экспериментальная апробация корпуса

Для оценки практической применимости сформированного корпуса в задаче автоматической классификации требований были обучены два мультиметочных классификатора на базе предобученной русскоязычной трансформерной модели DeepPavlov/rubert-base-cased [11]. Архитектура включает два мультиметочных классификатора [12, 13]: классификатор верхнего уровня и классификатор подклассов нефункциональных требований, которые работают в каскаде.

Обучение проводилось с помощью встроенных инструментов библиотек Transformers [14] и Scikit-learn [15]. При обучении использовались следующие гиперпараметры:

– максимальная длина последовательности 64 токена;

– размер батча 16;

– стартовые скорости обучения $2 \cdot 10^{-5}$ для классификатора верхнего уровня и $5 \cdot 10^{-6}$ для классификатора нефункциональных подклассов;

– ограничение в 30 эпох с ранней остановкой по F1 micro (Число эпох с деградацией для остановки = 3);

– стратифицированное разделение данных выполнялось по ключевому классу IsFunctional, как наиболее структурообразующей метке верхнего уровня, на обучающую и тестовую выборки выполнялось в пропорции 85/15;

– фиксированный seed для воспроизводимости.

Обучение обоих классификаторов выполнялось в постановке мультиметочной классификации с использованием функции потерь BCEWithLogitsLoss. Для контроля качества использовались метрики precision, recall, F1-micro, F1-macro и F1-weighted. Дополнительно применялись индивидуальные пороги по классам, поскольку общий порог не обеспечивает оптимального баланса precision и recall для редких меток.

На тестовом подмножестве модели показали следующие результаты: классификатор верхнего уровня: F1 micro = 0,966; классификатор нефункциональных подклассов: F1 micro = 0,886; каскад целиком: F1 micro 0,936 и F1 macro 0,913.

Близость значений micro и macro F1 указывает на отсутствие выраженной деградации качества модели на редких классах в рамках проведённого эксперимента.

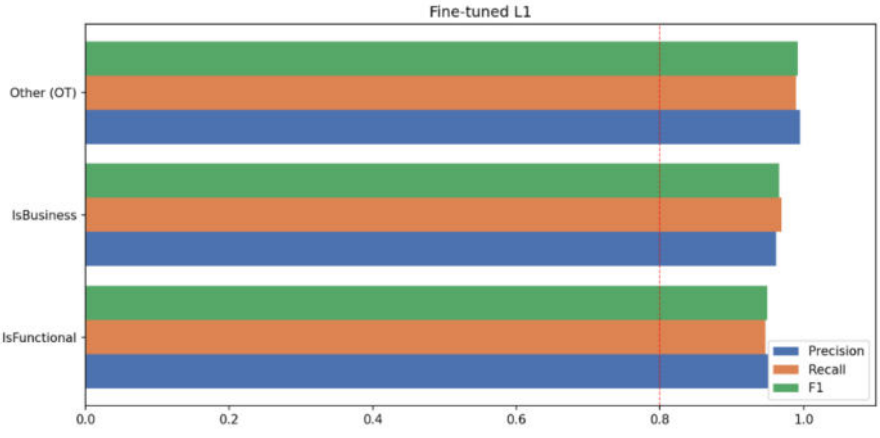


Рис. 2. Метрики классификатора верхнего уровня

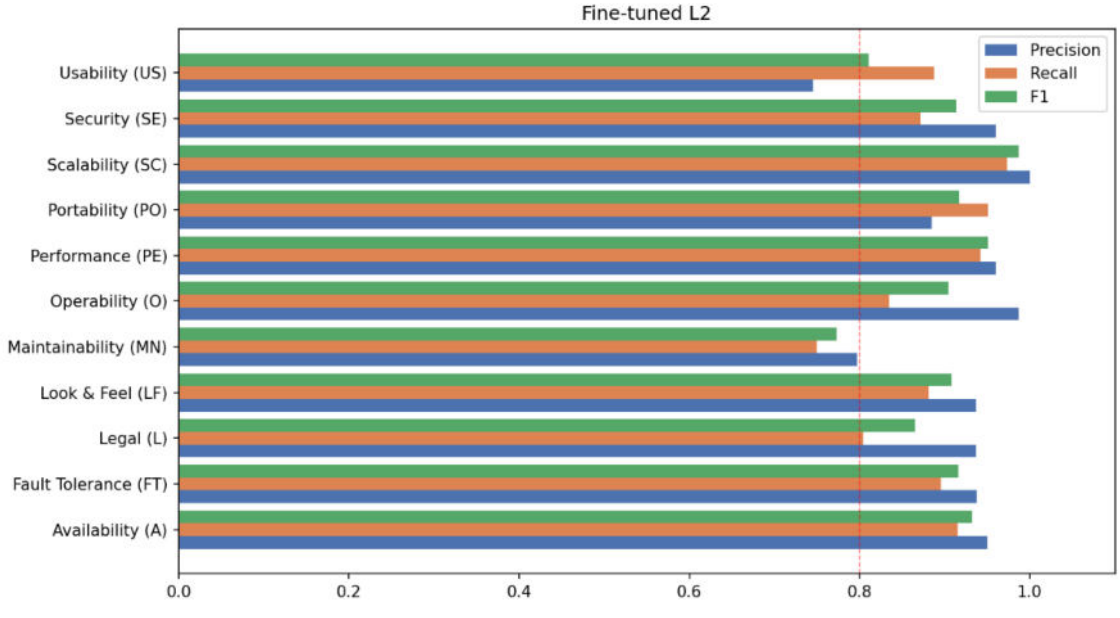


Рис. 3. Метрики классификатора нефункциональных подклассов

	precision	recall	f1-score	support
IsFunctional	0.938	0.959	0.949	491
IsBusiness	0.934	0.972	0.952	391
Other (OT)	0.997	0.987	0.992	381
Availability (A)	0.960	0.867	0.911	83
Fault Tolerance (FT)	0.938	0.910	0.924	67
Legal (L)	0.940	0.804	0.867	97
Look & Feel (LF)	0.960	0.857	0.906	84
Maintainability (MN)	0.775	0.809	0.791	68
Operability (O)	1.000	0.835	0.910	91
Performance (PE)	0.933	0.933	0.933	104
Portability (PO)	0.960	0.889	0.923	81
Scalability (SC)	1.000	0.973	0.986	75
Security (SE)	0.883	0.899	0.891	109
Usability (US)	0.871	0.831	0.851	89
micro avg	0.943	0.929	0.936	2211
macro avg	0.935	0.895	0.913	2211
weighted avg	0.944	0.929	0.936	2211
samples avg	0.949	0.946	0.944	2211

```
Сводные метрики пайплайна:
  F1 micro: 0.9362
  F1 macro: 0.9133
  F1 weighted: 0.9358
```

Рис. 4. Метрики каскада классификаторов

Заключение

Предложена итеративная методика формирования русскоязычного корпуса требований к ПО, объединяющая открытые датасеты, перевод, полуавтоматическую разметку, синтетическую генерацию и реальные технические задания. В результате сформирован корпус объёмом 12 032 записи с двухуровневой мультиметочной схемой, включающей классы верхнего уровня и подклассы нефункциональных требований.

Для устранения дисбаланса категория IsNonFunctional была реализована как производная метка, автоматически определяемая по нефункциональным подклассам.

Практическая применимость корпуса в задаче автоматической классификации требований была продемонстрирована экспериментально. Каскадный классификатор на базе ruBERT достиг F1 micro 0,936 и F1 macro 0,913 на тестовой выборке.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение корпуса реальными данными из новых предметных областей, а также проведение независимой межэкспертной оценки согласованности разметки.

Список литературы

1. Pohl K. Requirements engineering fundamentals: a study guide for the certified professional for requirements engineering exam-foundation level-IREB compliant. – Rocky Nook, Inc., 2016.

2. Kotonya G., Sommerville I. Requirements engineering: processes and techniques. – Wiley Publishing, 1998.

3. Devlin J. et al. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding // NAACL. – 2019. – С. 4171-4186.

4. Hey T. et al. NoRBERT: Transfer learning for requirements classification // 2020 IEEE 28th international requirements engineering conference (RE). – IEEE, 2020. – С. 169-179.

5. Cleland-Huang J. et al. The detection and classification of non-functional requirements with application to early aspects // 14th IEEE international requirements engineering conference (RE'06). – IEEE, 2006. – С. 39-48.

6. Ferrari A., Spagnolo G. O., Gnesi S. PURE: A dataset of public requirements documents // 2017 IEEE 25th international requirements engineering conference (RE). – IEEE, 2017. – С. 502-505.

7. Knauss E. et al. Supporting requirements engineers in recognising security issues // International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2011. – С. 4-18.

8. PURE XML parser. URL: https://github.com/EternalGeniuz/diploma_project/blob/master/utils/pure_xml_parser.py (дата обращения: 15.02.2026).

9. Sun C. et al. How to fine-tune bert for text classification? // China national conference on Chinese computational linguistics. – Cham : Springer International Publishing, 2019. – С. 194-206.

10. RequirementsDataset-RU. URL: https://huggingface.co/datasets/eternalGenius/RequirementsDataset-RU (дата обращения: 15.02.2026).

11. RuBERT-base-cased. URL: https://huggingface.co/DeepPavlov/rubert-base-cased (дата обращения: 03.05.2026).

12. rubert_level1_docs_v2: Обученный классификатор верхнего уровня. URL: https://huggingface.co/eternalGenius/rubert_level1_docs_v2 (дата обращения: 15.02.2026).

13. rubert_level2_docs_v2: Обученный классификатор нефункциональных подклассов. URL: https://huggingface.co/eternalGenius/rubert_level2_docs_v2 (дата обращения: 15.02.2026).

14. Библиотека Transformers. Hugging Face. URL: https://huggingface.co/docs/transformers/index (дата обращения: 15.02.2026).

15. Библиотека Scikit-learn. User Guide. URL: https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html (дата обращения: 15.02.2026).

16. Кононов Е. В. Ноутбук разработки датасета и аудиопайплайна. URL: https://drive.google.com/file/d/1xSUtewiXergnWS5jzej-70ycQOHVwuLH/view (дата обращения 02.05.2026)

УДК 004.8

PRINCIPLES AND BEST PRACTICES FOR DESIGNING THE ARCHITECTURE OF LARGE LANGUAGE MODEL BASED AGENT SYSTEMS

Korosteleva D.M., senior lecturer;
ORCID: 0000-0002-7994-886X;
Kalimullina A.E., student;
ORCID: 0009-0007-8744-24914;
Abramskiy M.M., director of Institute of IT and Intelligent Systems, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-3063-8948

ПРИНЦИПЫ И ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ АГЕНТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Коростелева Д.М., старший преподаватель;
ORCID: 0000-0002-7994-886X;
Калимуллина А.Е., студент;
ORCID: 0009-0007-8744-2491;
Абрамский М.М., директор Института информационных технологий и интеллектуальных систем ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-3063-8948

Abstract

In recent years, large language models have become the foundation of a new generation of intelligent systems capable of addressing a wide range of tasks related to natural language processing, information analysis, programming, and the automation of various business processes. However, using a language model as a standalone tool limits its ability to solve complex tasks that require the sequential execution of interrelated actions, interaction with external services, storage of intermediate results, and adaptation of behavior to changing conditions. Consequently, agentic systems have gained increasing attention, in which a large language model functions as one component of a more complex software system responsible for planning, decision-making, utilizing external tools, and monitoring task execution. As the level of autonomy of agentic systems increases, so do the requirements for their design. The most critical challenges include selecting appropriate language models, designing system architecture, managing memory, coordinating task execution, ensuring process observability, and verifying the correctness of decisions. The quality of these components directly determines the reliability, scalability, computational efficiency, and practical applicability of agentic systems in real-world environments. This paper presents a review of contemporary approaches to the design of agentic systems based on large language models. It examines the principles of multilayer architecture design, the organization of the language model layer and request-routing mechanisms, modern approaches to memory subsystem design, as well as techniques for observability, verification, and task execution control. Particular attention is devoted to recent architectural solutions aimed at improving the reliability, controllability, and efficiency of agentic systems. Based on an analysis of recent scientific literature, the paper summarizes the principal approaches to building agentic systems, discusses their advantages, limitations, and practical application domains. The obtained results provide a comprehensive understanding of contemporary principles for the architectural design of autonomous systems and highlight the most relevant practical recommendations.

Keywords: large language model; agentic system; multi-agent system; agent system architecture; request routing; orchestration; memory management; observability; verification; artificial intelligence; autonomous intelligent system

Аннотация

В последние годы большие языковые модели стали основой нового поколения интеллектуальных систем, способных решать широкий круг задач, связанных с обработкой естественного языка, анализом информации, программированием и автоматизацией различных бизнес-процессов. Использование языковой модели в качестве самостоятельного инструмента ограничивает возможности решения сложных задач, требующих последовательного выполнения взаимосвязанных действий, взаимодействия с внешними сервисами, хранения промежуточных результатов и адаптации поведения в зависимости от изменяющихся условий. В связи с этим все большее распространение получают агентные системы, в которых большая языковая модель выступает одним из компонентов более сложной программной системы, обеспечивающей планирование, принятие решений, использование внешних инструментов и контроль выполнения поставленной задачи. Рост уровня автономности агентных систем сопровождается повышением требований к их проектированию. Наиболее важными становятся вопросы выбора языковых моделей, проектирования архитектуры, управления памятью, координации выполнения задач, обеспечения наблюдаемости процессов и проверки корректности принимаемых решений. От качества проектирования этих компонентов зависят надежность, масштабируемость, вычислительная эффективность и возможность практического применения агентных систем в реальных условиях. В статье представлен обзор современных подходов к проектированию агентных систем на основе больших языковых моделей. Рассмотрены принципы проектирования многослойной архитектуры, особенности организации слоя языковых моделей и механизмов маршрутизации запросов, современные подходы к построению подсистем памяти, а также средства наблюдаемости, верификации и контроля выполнения задач. Отдельное внимание уделено современным архитектурным решениям, направленным на повышение надежности, управляемости и эффективности агентных систем. На основе анализа современных научных публикаций обобщены основные подходы к построению агентных систем, рассмотрены их преимущества, ограничения и области практического применения. Полученные результаты позволяют сформировать целостное представление о современных принципах проектирования архитектуры автономных систем и выделить наиболее релевантные практические рекомендации.

Ключевые слова: большая языковая модель, агентная система, мультиагентная система, архитектура агентных систем, маршрутизация запросов, оркестрация, управление памятью, наблюдаемость, верификация, искусственный интеллект, автономная интеллектуальная система

LLMs have recently become increasingly robust and capable of performing tasks over long periods of time. However, to integrate this type of artificial intelligence into business processes, agent systems based on LLMs must be developed. In the short period since such systems began to be developed and integrated into production environments, various practices have emerged, many of which can be considered best practices.

The goal of this research, conducted for civilian purposes, is to consolidate best practices and principles to consider when designing modern autonomous agent systems based on LLMs.

When discussing the effectiveness of an agent system, several key architectural components should be considered. These include the choice of the underlying Large Language Model (LLM); whether the system should adopt a single-agent or multi-agent architecture; how memory management will be organized; whether routing across multiple models is required; which communication protocols will be employed; what skills and tools the agents will utilize; how the observability framework will be implemented; and how the evaluation and verification of agent performance will be designed.

Beyond these architectural considerations, several additional engineering challenges must also be addressed. These include prompt caching strategies, deployment methodologies, and mechanisms for agent isolation. As the implementation and production deployment of agent systems continue

to expand, the collective understanding of their design principles is becoming increasingly mature, leading to the emergence of more refined architectural practices and established design patterns [2].

When designing an agent system, one of the fundamental architectural decisions is whether the system should adopt a single-agent or a multi-agent architecture. There is no universal answer to this question. Each agent system should be designed with an architecture that best fits its specific business environment and application requirements. Ultimately, the appropriateness of either approach can only be determined through empirical evaluation within the target domain.

Nevertheless, based on authoritative literature [1], a number of established design practices and findings from theoretical and empirical research have emerged. These provide valuable guidance for selecting an appropriate architectural paradigm and should be taken into consideration when designing modern LLM-based agent systems.

Thus, when identifying best practices for designing multi-agent systems, several architectural patterns for designing inter-agent interactions can be identified [2]. It's worth noting that a multi-agent system is not homogeneous, as it contains multiple components that must communicate effectively with each other. This explains the development of architectural variations, the foundation of which was adopted from classical system design. The basic principle of pattern separation is based on the question of how the parts of a multi-agent system will interact with each other, as free interaction between subagents leads to context blurring, which ultimately leads to a decrease in the performance of the entire agent system. Among the patterns that have become the basis for others, orchestration and choreography are worth mentioning. Patterns based on choreography imply freer interaction between subagents and, consequently, context blurring and are more relevant when more robust LLMs can be used. In the case of patterns based on the orchestration principle, an agent is allocated that is endowed with a large list of powers and responsibilities (in contrast to the subagents to which it delegates tasks).

Other patterns that can be implemented in this context are based on the aforementioned patterns, but are adapted to the specific business process and case. For example, layers can be added for generating agent output, validation, and verification of agent performance. The ability to perform tasks concurrently by subagents is also taken into account [1].

At the same time, when agents interact, the issue of information transfer between them arises, which is one of the most important issues in designing such systems – the agent's performance will depend on the quality of the designed memory system [5]. It is worth noting that the memory system is heterogeneous – often, 2-3 memory layers are incorporated during the design process, since some information must be stored within the system's loop only temporarily, while some information must be transferred for longer-term storage. There is also an array of information that is transferred to the agent even before it starts working and is persistent – for example, it may be data that was accumulated in the company before the agent was launched. At the same time, each memory layer – state, temporarily changing medium-term memory, and long-term memory – can be stored in different types of storage.

The most important modern approach to designing a memory layer is personalization based on a graph representation. This approach, among other things, emerged as a response to the need to consolidate and better link the data chunks available to the agent. Thus, if we talk about the classic RAG variant, it is necessary to note the drawback of this search approach – the loss of global context and noise in the retrieved data [4]. GraphRAG enables the possibility of searching taking context into account; at the same time, if we look at the technical side of data storage, it is worth noting that vector databases are used for RAG, while graph databases (in conjunction with vector databases) are used for graph-based variants.

The observability layer is one of the most significant in the outline of the architecture of agent systems. This layer is also important for deterministic systems, however, in the case of stochastic systems and systems that make decisions on their own, it becomes the most important [6]. The classic triad in building an observability system are logs, metrics, and traces. When working with all three components, you can build the most sensitive, mature, and voluminous monitoring and observability system. So, correctly collected and saved logs allow you to analyze the causes of incidents and

evaluate the logic of decision-making by agents, and metrics – to assess the state of the system using numerical indicators. So, the monitored values can be associated with metrics related to performance and reliability – latency, throughput, error rates, task compilation rate, quality metrics – accuracy, tool call accuracy, as well as cost and efficiency metrics – for example, token usage cost per task. Other metrics and their categories can be distinguished, moreover, the most relevant metrics and their combinations should be selected for each specific business solution. For example, in the case of a multi-agent system, the agent handoffs metric can be additionally integrated to estimate the number of interactions between agents).

Agent systems capable of self-healing and self-learning are popular today, and one of the factors in building such systems is a well-configured system for collecting and storing traces. These traces can be used to accurately track the request path, and successful traces can be used as data for analytics or as a precedent for subsequent agent training [9].

Evaluating performance is one of the most complex and significant aspects of developing agent-based systems. While this issue is partly linked to observability, it is important to note that agent systems are heterogeneous; consequently, one must evaluate not only the system's overall performance but also the performance of the underlying LLM [7]. During an agent's operational lifespan, new models may be released; adapting these to the agent's specific requirements is often beneficial, as newer model generations frequently yield more robust agents. Models can be evaluated using benchmarks – specialized task sets – but when designing agents for highly specialized tasks, general benchmarks may lack sensitivity, rendering the results irrelevant. This highlights the need to create custom test sets for model evaluation. Evaluating agent activity itself is an even more extensive and critical task; because agent systems are autonomous – and both businesses and developers aim to minimize human involvement in the processes delegated to agents – it is essential to monitor and evaluate their activity continuously rather than as a one-off event. This can be achieved through benchmarks, metrics, logs, and traces suitable for subsequent analysis, as well as through specially designed test environments that emulate real-world business processes to assess agent behavior and decision-making accuracy.

Agents are often organized using multiple models rather than a single one, taking into account various criteria, ranging from cost and processing speed to reliability, token consumption, orchestration capabilities, and the ability to process requests locally without transmitting data outside the system [3]. This aspect is particularly important for businesses, as it is directly related to cost optimization, agent performance and quality, the ability to operate autonomously and reliably, and the delivery of a better customer experience [8].

The analysis shows that the effectiveness of LLM-based autonomous systems directly depends on the coherence of their architecture. In particular, well-designed routing, a properly organized memory system, observability, and system validation are essential. In multi-agent architectures, performance gains are more often achieved through the quality of agent interaction rather than through an increase in the number of agents.

References

1. Xiaowen Ma, Yunpu Ma, Chenyang Lin, Sikuan Yan, Jinhe Bi, Zixuan Cao, Yijun Tian, Volker Tresp, Hinrich Schuetze. Self-Evolving Multi-Agent Systems via Textual Backpropagation // Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2026. – URL: https://aclanthology.org/2026.findings-acl.483/ (accessed: 20.08.2026).

2. Apoorva Adimulam, Rajesh Gupta, Sumit Kumar. The Orchestration of Multi-Agent Systems: Architectures, Protocols, and Enterprise Adoption //arXiv. – URL: https://arxiv.org/html/2601.13671v1 (accessed: 16.08.2026).

3. Sakana AI. Sakana Fugu Technical Report // arXiv. – URL: https://arxiv.org/html/2606.21228v2 (accessed: 25.08.2026).

4. Qinggang Zhang, Shengyuan Chen, Yuanchen Bei, Zheng Yuan, Huachi Zhou, Zijin Hong, Hao Chen, Yilin Xiao, Chuang Zhou, Junnan Dong, Yi Chang, Xiao Huang. A Survey of Graph

Retrieval-Augmented Generation for Customized Large Language Models // arXiv. – URL: https://arxiv.org/html/2501.13958v3 (accessed: 27.08.2026).

5. Pengfei Du. Memory for Autonomous LLM Agents:Mechanisms, Evaluation, and Emerging Frontiers // arXiv. – URL: https://arxiv.org/html/2603.07670v1 (accessed: 23.08.2026).

6. Wang et al. Agent System Operations: Categorization, Challenges, and Future Directions // arXiv. – URL: https://arxiv.org/html/2606.01581v1 (accessed: 15.08.2026).

7. Maiorano A. C. LLM Readiness Harness: Evaluation, Observability, and CI Gates for LLM/RAG Applications // arXiv. – URL: https://arxiv.org/html/2603.27355v2 (accessed: 19.08.2026).

8. Tao Feng, Haozhen Zhang, Zijie Lei, Peixuan Han, Jiaxuan You. GraphPlanner: Graph Memory-Augmented Agentic Routing for Multi-Agent LLMs // arXiv. – URL: https://arxiv.org/html/2604.23626v1 (accessed: 28.08.2026).

9. Mengzhuo Chen, Junjie Wang, Zhe Liu, Yawen Wang, Haiming Zheng, Qing Wang. From Failed Trajectories to Reliable LLM Agents: Diagnosing and Repairing Harness Flaws // arXiv. – URL: https://arxiv.org/html/2606.06324v2 (accessed: 23.08.2026).

УДК 339.924

ИНТЕГРАЦИЯ ЭКОНОМИК РОССИИ И КИТАЯ КАК ФАКТОР УСПЕШНОЙ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Ли Чжухэ, магистрант;
Кисякова Э.М., магистрант;
Фасахов Т.Р., магистрант;
Игнатьева О.А., к.э.н., научный руководитель, доцент Института экономики, управления и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

INTEGRATION OF THE RUSSIAN AND CHINESE ECONOMIES AS A FACTOR OF SUCCESSFUL FOREIGN ECONOMIC ACTIVITIES

Li Zhuhe, Master's student;
Kisyakova E.M., Master's student;
Fasakhov T.R., Master's student;
Ignatjeva O.A., Ph.D. econ. Sciences, Scientific supervisor, Associate Professor Institute of Economics, Management and Finance KFU, Kazan, Russia

Аннотация

В работе проведен анализ текущей ситуации и ключевых направлений экономического сотрудничества между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой во многих направлениях экономической кооперации, занимающих важную роль в их внешнеэкономической политике. Автор, опираясь на статистические данные из подтвержденных источников, изучает основные области сотрудничества двух стран: объемы двусторонней торговли, инвестиционные потоки, совместные проекты в топливно-энергетическом секторе и сельском хозяйстве, а также укрепление связей в финансовой и логистической сферах. Значимым элементом исследования стало рассмотрение изменений в структуре российского экспорта по товарным группам, значимости перехода на расчеты в рублях и юанях, а также развитие альтернативных транспортных маршрутов в условиях изменений в глобальной логистике, связанных с санкционным давлением на Россию и Китай. Итоговым результатом проведенного исследования стало выявление того, что двусторонние отношения между двумя государствами проходят период трансформации. Вместо модели торговой кооперации формируется но-

вый этап – тесный союз в области технологий и промышленности. Данный вид кооперации позволяет смягчить воздействие международной нестабильности и укрепить независимость обеих стран в экономическом и политическом отношении.

Ключевые слова: экономическая интеграция, внешнеэкономическая деятельность, российско-китайские отношения, товарооборот, дедолларизация, логистические коридоры, инвестиционное сотрудничество, национальные валюты

Abstract

The paper provides a comprehensive analysis of the current situation and the main directions of economic cooperation between Russia and China as a key factor in their foreign economic policy. Using the latest statistical indicators, the author examines the main areas of partnership: the volume of mutual trade, the movement of capital investments, joint projects in the fuel and energy complex and agriculture, as well as convergence in the financial and transport fields. The study focuses on the evolution of Russian exports by commodity group, the importance of switching to payments in rubles and yuan, and the development of alternative cargo transportation routes in an era of changes in global logistics schemes. The result of the analysis is a statement of a shift in bilateral relations.

Keywords: economic integration, foreign economic activity, Russia-China relations, trade turnover, de-dollarization, logistics corridors, investment cooperation, national currencies

Вторая половина 2020-х гг. стала началом периода открытой макрорегионализации, в процессе которой происходит активная перестройка международной цепочки поставок и усиление геополитическую конкуренции. В этом контексте стратегическое партнерство между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой перестает быть лишь формальной декларацией о базовых вопросах политической кооперации и становится базисным элементом внешнеэкономической политики обеих стран. кооперация между данными странами постепенно переходит от стратегии увеличения товарооборота базовой продукции, превращаясь в системный фактор укрепления внутренней стабильности обеих стран перед макроэкономическими шоками в виде глобальных кризисов и точечных санкционных программ.

Торговая кооперация между двумя странами сохраняет тенденцию к росту. Исходя из прогнозных данных, к концу 2025 г. объем товарооборота достигнет около 285–290 млрд. долл. США, что означает рост на 8–10% по сравнению с рекордными показателями 2024 г., что свидетельствует о стабилизации темпов роста после пикового увеличения обмена товарами и услугами в период с 2022-2024 гг. (что во многом связано с ускоренной переориентацией России на рынки Азии в связи с повышением количества барьеров со стороны Европы) [5]. Однако, более значимым является не сам показатель роста, а изменения в структуре товарооборота. Прежняя модель сотрудничества в сфере торговли, где Россия поставляла энергоносители, а Китай импортировал готовую продукцию, постепенно меняется. Хотя углеводороды, такие как нефть и нефтепродукты, а также сжиженный природный газ и уголь все еще занимают важное место в российском экспорте, их доля постепенно сокращается в пользу других, более инновационных и разносторонних товаров, что повышает торговую внешнюю диверсификацию. На передний план выходит экспорт сельскохозяйственной продукции и продовольствия, а также компонентов товаров военно-промышленного комплекса (далее ВПК). В 2025 г. поставки зерна, в частности пшеницы и кукурузы, масложировой продукции (например, рапс и подсолнечное масло), а также мяса птицы и рыбы из России в Китай увеличились на 18–22% в денежном выражении, как и продукции ВПК, увеличение которой в торговом сотрудничестве с КНР составило 12% [6].

Китай стал важнейшим внешним рынком сбыта для многих товаров российского агропромышленного комплекса, что способствует диверсификации экспорта из России не только в страны Ближнего Востока и бывший территорий Советского Союза, но и в сторону Азии. Параллельно российский импорт из Китая становится более разносторонним. Снижается доля

простых потребительских товаров, уступая место ввозу продукции с высокой добавленной стоимостью и технологическими особенностями: сложного промышленного оборудования, деталей для автомобилестроения и транспортной отрасли, химической продукции, а также товаров для развития IT-инфраструктуры, в частности полупроводников как наиболее ликвидного и значимого товара на мировом рынке высоких технологий. Структура торговли все больше отражает не просто взаимодополняемость экономик, а зарождение совместных технологических и производственных цепочек.

Помимо увеличения объёма товарооборота, повышение активности интеграционных процессов между Россией и Китаем проявляется в формировании общих институтов на территории обеих стран и создании финансовой структуры, подходящей для более эффективной, быстрой и простой двусторонней кооперации. Наиболее эффективным, быстро интегрированным и подходящим для обеих стран является использование национальных валют обеих стран в процессе торгового и инвестиционного сотрудничества. В процессе с развитием инвестиционного сотрудничества в вопросе развития способов валютного обмена происходит кооперация в вопросе увеличения количества инфраструктурных сетей между банками разных стран.

Данный фактор позволяет российским эмитентам более эффективно выходить на рынки ценных бумаг Китайской Народной Республики через облигации в национальной китайской валюте. Это также позволяет более эффективно реализовывать двусторонние китайско-российские проекты, давая возможность российским инвесторам более быстро проникать в китайскую экономику [8, с. 76]. Многополярная валютная система в мире, не основанная лишь на долларах США становится основой укрепления ЕАЭС и ШОС. Такие процессы создают основу для постепенного перехода к многополярной валютной системе в рамках ЕАЭС и ШОС.

Процесс дедолларизации отражает современные тенденции кооперации на базе макрорегионализации и снижения глобализационных процессов. Согласно статистическому обзору «Банка России», доля национальной китайской валюты в расчетах межгосударственных контрактов с Китайской Народной Республикой достигла 35% в 2023 г., при этом структура международных резервов Центрального банка Российской Федерации на 15% состояла из юаня, и данный процент ежегодно повышается, уменьшая уровень значимости доллара [1]. Уже в 2025 г. доля внешнеторговых операций России на базе юаня составила более 40% [2].

Институциональная структура Российской Федерации и Китайской Народной Республики в формировании успешной внешнеэкономической деятельности является наиболее значимой задачей, способной стереть устоявшиеся барьеры на длительный период времени, в отличие от наращивания товарооборота или инвестиционных потоков, которые являются нестабильными и могут быть снижены при возникновении кризисных ситуаций в одном из государств, так и под влиянием внешнего давления. С 2017 г. между Евразийской экономической комисссии и Министерства коммерции КНР ведет переговоры о формировании всеобъемлющего торгового соглашения, снижающего трансакционные издержки. На момент 2025 г. за 9 проведенных раундов были выявлены режимы наибольшего благоприятствования, таможенного администрирования и единения фитосанитарных норм с интеграцией электронной коммерции. В 2026 г. еще не было заключено даже точечных соглашений с единением приоритетов товарных позиций, таких как агрокультура, тяжелая промышленность и микроэлектроника, но с 2023 г. действует «дорожная карта» по либерализации тарифов в рамках пилотных товарных групп [4].

Цифровизация таможенного администрирования и система «единого окна» в интеграционной политике России и Китая может стать значимым элементом формирования уникального экономического кластера. Электронный обмен документации на пограничных переходах Забайкальск-Маньчжурия и Гродеково-Суйфэньхэ с 2022 г. га базе ФТС России и GACC позволило сократить таможенное оформление на 40% на момент 2025 г. в сравнении с 2022 г.

Подключенные 12 автомобильных и 4 железнодорожных пункта граничного перехода к уникальной цифровой системе «единого окна» является пилотным проектом и не полностью продемонстрировало потенциал и собственный уровень значимости. При этом нарастание трансграничной торговли между Россией и Китаем ведет к физическим трудностям трансграничной торговли. Пропускная способность российских железнодорожных путей на границах с Китаем. На момент 2025 г. фактический объем перевозок товаров в восточной части страны достиг 175,2 млн. тонн, тогда как пропускная способность составляла лишь 182,24 млн. тонн. Это подтверждает риск дефицита логистический мощностей, что в дальнейшем может привести к простоям и потерям значимых существующих внешних торговых контрактов с Китайской Народной Республикой [3, с. 38; 7].

В процессе сотрудничества Российской Федерации и Китайской Народной Республики происходит сближение в области промышленного производства и торговли товарами посредством технологического сближения. Локализация производств двух стран на территории РФ позволяет отходить от стандартной модели импорта готовой продукции Китая к совместным двусторонним проектам в области высоких технологий и тяжелой промышленности. Особенно сильный прирост в 2024-2025 гг. ощутился в таких отраслях экономики, как: микроэлектроника, робототехника в сфере промышленности, «зеленая» энергетика как часть инновационных сфер современной экономической деятельности, а также телекоммуникация [10, с. 47]. Телекоммуникация становится основой для более инновационных решений в сфере сотрудничества двух стран. Происходит создания единых цифровых платформ, экосистем как эффективных способов формирования единой логистики через двустороннее управление единой цепи поставок товаров.

Интеграционная политика между странами формируется не только на базе торговли и формировании институциональной среды. Торговая кооперация и необходимость в формировании общих институтов осуществляется в синергии с инвестиционными потоками. По данным Банка России, объем накопленных прямых иностранных инвестиций Китая на территории РФ составил 6.8 млрд. долл. США на начало 2025 г. составил 6,8 млрд. долл. США, увеличив данный показатель на 23% в сравнении с 2021 г. Российские инвестиции в КНР оцениваются в 2,1 млрд. долл. США, что подтверждает тренд диспропорции кооперации между КНР и РФ в сторону большей открытости восточно-европейского государства.

Планирование интеграции РФ и КНР осуществляется на базе сформированных планов. 25 мая 2026 г. был опубликовал 15-1 план Китая о взаимодействии с РФ до 2030 г., в котором были выявлены 109 крупнейших стратегических инженерных проектов.

Таблица 1

109 крупнейших стратегических и инженерных проектов между Российской Федерации и Китайской Народной Республикой [9]

Категория сектора	Количество проектов	Основные направления деятельности	Ключевые проекты, упомянутые публично
Производительные силы нового качества	28	Искусственный интеллект, полупроводники, квантовые технологии, биотехнологии, робототехника, передовое производство, исследования термоядерной энергии, спутниковый интернет, искусственный интеллект и вычислительная инфраструктура	Суперкомпьютерные центры искусственного интеллекта, отечественные фабрики полупроводников, системы квантовой связи

Окончание табл. 1

Категория сектора	Количество проектов	Основные направления деятельности	Ключевые проекты, упомянутые публично
Современная инфраструктурная система	23	Транспорт и логистика, энергетические сети, цифровая инфраструктура, телекоммуникационные системы	Расширение сети высокоскоростных железных дорог, строительство линий электропередачи сверхвысокого напряжения, развитие «Полярного шелкового пути» (Арктический судоходный маршрут в рамках инициативы «Один пояс, один путь»
Интеграция городских и сельских районов	9	Возрождение сельских районов, модернизация сельского хозяйства, урбанизация	Инфраструктура продовольственной безопасности, расширение широкополосной связи в сельской местности, базы модернизации сельского хозяйства
Общественное благосостояние и социальное развитие	25	Здравоохранение, образование, социальное обеспечение, трудоустройство	Инициативы «Здоровый Китай», модернизация государственных больниц, национальные программы по уходу за пожилыми людьми, «Экономика льда и снега»
Переход к «зеленой» и низкоуглеродной экономике	18	Возобновляемые источники энергии, углеродная нейтральность, защита окружающей среды	Гидроэнергетический проект Ярлунг Цангбо, солнечные и ветряные электростанции в пустыне, промышленные парки с нулевым выбросом углерода
Безопасность в стратегических областях	6	Энергетическая безопасность, продовольственная безопасность, цепочки поставок, системы реагирования на чрезвычайные ситуации	Стратегические запасы зерна, системы хранения энергии, национальные системы управления в чрезвычайных ситуациях

Как упоминается в плане: «15-й пятилетний план развития Китая (на 2026–2030 гг.) представляет собой одну из самых амбициозных государственных программ модернизации в современной мировой политике. Структурированный вокруг 109 крупных стратегических и инженерных проектов в области технологий, инфраструктуры, энергетики, общественного благосостояния, зеленого перехода и стратегической безопасности, план отражает попытку

Китая к 2030 г. превратиться в технологически самостоятельную, промышленно устойчивую и геополитически влиятельную мировую державу в сотрудничестве с Россией».

Регионы, находящиеся на границе двух стран, такие как Амурская область, Хабаровский край и города отдельные города Дальнего Востока Российской Федерации, а также провинции КНР – Хэйлунцзян и Цзилинь получают новую роль площадок тестирования инновационных интеграционных моделей сотрудничества. Наиболее показательным примером данного сотрудничества является обновление Транссибирской магистрали, являющейся элементом китайской макроэкономической программы «Пояс и путь». Такие масштабные проекты двух стран могут стать наиболее значимым элементом кооперации России и Китая, однако, на момент 2026 г., существует большое количество ограничений и проблем в виде неравенства в инвестициях, строгих правил переработки сырья на территории РФ и вероятности получения большого вторичного пакета санкций со стороны стран Запада как для Российской Федерации, так и для Китайской Народной Республики, что ставит новые задачи в виде повышения уровня информационной безопасности и независимости без явной оппозиционной политики глобализационным трендам.

Исходя из выше сказанного, до 2030 г. сотрудничество двух стран будет происходить на основе создания единой институциональной системы, затрагивающей промышленность и инновационные технологические решения с интеграцией новых валютно-финансовых инструментов, что потенциально способно обеспечить российско-китайскому сотрудничеству устойчивость перед внешними угрозами.

Список литературы

1. Банк России. Обзор финансовой стабильности. IV квартал 2023 г. – 2024 г. – Москва : ЦБ РФ, 2024. URL: https://cbr.ru/analytics/financial_stability/.

2. В Россельхозбанке оценили долю юаня в торговых сделках России / РБК. : [сайт]. – URL: https://www.rbc.ru/finances/03/09/2025/68b7c8b19a7947716d3a9ad4.

3. Годовой отчет за 2025 год. / ОАО «Российские железные дороги». – Москва : ОАО «РЖД», 2026. – С. 38.

4. Министерство коммерции КНР (MOFCOM). China-EAEU FTA Negotiations: Official Statements (2023–2025). URL: http://english.mofcom.gov.cn

5. Министерство экономического развития Российской Федерации. (2026). Обзор социально-экономического развития РФ за 2025 год. (Официальная статистика по внешней торговле).

6. Российский экспортный центр. (2025). Инвестиционное сотрудничество России и Китая: тренды 2024-2025 гг. Аналитический отчет.

7. Стратегия развития транспортной системы России до 2030 года / Министерство транспорта Российской Федерации : [сайт]. – URL: https://mintrans.gov.ru.

8. Центральный банк Российской Федерации. Обзор финансовой стабильности за 2024–2025 гг. / Банк России. – Москва : ЦБ РФ, 2025. – С. 76.

9. China's 15th Five-Year Plan (2026–2030): The Russian Influences [Электронный ресурс] // Russia's Pivot to Asia – URL: https://russiaspivottoasia.com/chinas-15th-five-year-plan-2026-2030-the-russian-influences/.

10. Zhang, X., & Lukin, A. (2025). The Economic Pivot: How Sino-Russian Cooperation is Reshaping Eurasia. Journal of Eurasian Studies, 16 (1), 45-60. https://doi.org/10.1177/18793665241245678.

УДК 004.89:658.7

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОСТАВОК НА СКЛАДЫ МАРКЕТПЛЕЙСОВ

Мубараков К.Л., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-8156-7936

ANALYSIS OF THE METHODS TO FORECAST THE DEMANDS FOR AUTOMATING DELIVERY OF SUPPLIES TO MARKETPLACE WAREHOUSES

Mubarakov K.L., student of Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-8156-7936

Аннотация

Рост электронной торговли и развитие распределенной складской инфраструктуры маркетплейсов повышают требования к точности планирования товарных поставок. Для продавца недостаточно прогнозировать совокупный спрос на товар, поскольку решение о пополнении запасов должно учитывать территориальное распределение заказов и потребность отдельных складских кластеров. Ошибки прогноза приводят к дефициту в регионах с высоким спросом либо к образованию избыточных запасов, снижая оборачиваемость и эффективность логистики. Цель исследования состоит в сравнении методов прогнозирования спроса и определении подходов, пригодных для интеллектуальной системы автоматизации поставок на склады маркетплейсов. Исследование выполнено на обезличенных операционных данных реального продавца за период с 1 июля 2024 г. по 31 августа 2026 г.; исходный набор содержит 119 товарных артикулов и сведения о заказах в разрезе кластеров доставки. Для эксперимента сформировано 60 недельных временных рядов, соответствующих 21 артикулу и 11 территориальным кластерам, и сопоставлены наивный прогноз, четырехнедельное скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание ETS, SARIMA, Croston, SBA, TSB и XGBoost. Качество оценивалось по MAE, RMSE, WAPE, sMAPE и систематическому смещению с использованием rolling backtesting по шести независимым контрольным окнам продолжительностью четыре недели каждое. Установлено, что ETS показал минимальные MAE и WAPE, равные 2,445 и 47,41% соответственно, тогда как XGBoost обеспечил минимальные RMSE 3,630, sMAPE 57,80% и наименьшее отрицательное смещение 9,46%. Классификация рядов показала, что 58,3% сочетаний «артикул – кластер» характеризуются прерывистым спросом; при этом лучшая модель менялась в зависимости от типа спроса и контрольного периода. Полученные результаты свидетельствуют, что для прогнозного модуля интеллектуальной системы целесообразно рассматривать адаптивный выбор или комбинирование моделей с учетом статистических характеристик конкретного товарно-кластерного ряда вместо применения единого универсального алгоритма.

Ключевые слова: маркетплейс, прогнозирование спроса, машинное обучение, XGBoost, временные ряды, прерывистый спрос, управление запасами, поставки, склады, электронная коммерция

Abstract

The growth of e-commerce and the expansion of distributed marketplace warehouse networks increase the requirements for accurate inventory replenishment planning. Forecasting only aggregate product demand is insufficient because replenishment decisions should reflect the geographical

distribution of customer orders and the demand generated within individual warehouse clusters. Forecast errors may cause stockouts in high-demand regions or excessive inventory in low-demand locations, reducing inventory turnover and logistics efficiency. The objective of this study is to compare demand forecasting methods and identify approaches suitable for an intelligent system for automating replenishment to marketplace warehouses. The study uses anonymized operational data from a real marketplace seller covering July 1, 2024 through August 31, 2026; the initial dataset contains 119 product items and order information by delivery cluster. For the experiment, 60 weekly time series representing 21 products and 11 geographical clusters were constructed, and eight approaches were compared: naive forecasting, a four-week moving average, exponential smoothing ETS, SARIMA, Croston, Syntetos-Boylan Approximation, Teunter-Syntetos-Babai, and XGBoost. Forecast accuracy was evaluated using MAE, RMSE, WAPE, sMAPE, and forecast bias with rolling backtesting across six independent four-week test windows. ETS achieved the lowest MAE and WAPE, 2.445 and 47.41%, respectively, while XGBoost produced the lowest RMSE of 3.630, sMAPE of 57.80%, and the smallest negative bias of 9.46%. Demand-pattern classification showed that 58.3% of product-cluster series were intermittent, while the best-performing method varied across demand classes and test windows. The results indicate that an intelligent marketplace replenishment system should consider adaptive model selection or model combination rather than rely on a single universal forecasting algorithm.

Keywords: marketplace, demand forecasting, machine learning, XGBoost, time series, intermittent demand, inventory management, replenishment, warehouses, e-commerce

Введение

Современные маркетплейсы используют распределенные сети складов и сортировочных центров. Для продавца выбор объема и направления поставки становится задачей управления территориально распределенными запасами. Недостаточное количество товара в регионе потенциального спроса способно увеличивать расстояние доставки и риск дефицита, тогда как избыточное размещение снижает оборачиваемость и увеличивает объем запасов, не обеспеченных текущим спросом.

Одним из ключевых исходных параметров при формировании поставки является прогноз спроса. В исследованиях по управлению цепями поставок прогнозирование рассматривается как основа решений по пополнению запасов, причем необходимый уровень детализации зависит от характера управленческого решения: для операционного управления запасами прогноз требуется на уровне отдельных товарных позиций [1]. Для маркетплейсов к товарному уровню добавляется территориальный: совокупный прогноз продаж не определяет, в каком кластере возникнет будущая потребность.

Иерархические временные ряды могут формироваться по продуктам, географии и временным уровням. Современные исследования показывают, что использование взаимосвязей между уровнями иерархии способно улучшать прогнозы в цепях поставок [2]. Одновременно методы машинного и глубокого обучения расширили набор инструментов прогнозирования; в систематическом обзоре 2024 г. проанализировано 119 исследований по их применению в supply chain management [3].

Особенность электронной торговли заключается также в высокой доле товарных рядов с нулевым спросом в отдельных периодах. Такой спрос относят к прерывистому (intermittent demand); его прогнозирование является отдельной задачей управления запасами и исследовалось, в частности, на данных крупных онлайн-ритейлеров [4].

Цель исследования – провести сравнительный анализ статистических методов, специализированных методов прогнозирования прерывистого спроса и модели машинного обучения для определения подходов, пригодных для интеллектуальной системы автоматизации поставок на склады маркетплейсов. Для достижения цели необходимо сформировать временные ряды в разрезе «товар – кластер – период», оценить их разреженность, сравнить качество прогнозов и исследовать зависимость эффективности моделей от характера спроса.

1. Анализ методов прогнозирования спроса

В качестве базового подхода используется наивный прогноз, согласно которому спрос следующего периода принимается равным последнему наблюдаемому значению. Он необходим как контрольная модель: применение более сложного алгоритма оправдано, если оно обеспечивает устойчивое улучшение относительно простого решения.

Наивный прогноз задается выражением:

$$\hat{D}(t+1) = D(t).$$

Скользящее среднее сглаживает случайные колебания за счет усреднения нескольких последних наблюдений. Экспоненциальное сглаживание ETS дополнительно повышает вес новых данных и позволяет моделировать уровень и тренд временного ряда. Модели семейства ARIMA и SARIMA учитывают авторегрессионную структуру и сезонность, однако при большом количестве нулевых наблюдений и структурных изменениях спроса их преимущества могут снижаться.

Для скользящего среднего прогноз определяется как:

$$\hat{D}(t+1) = (1/n)\,\Sigma[k = 0 \ldots n-1]\, D(t-k).$$

Для прерывистого спроса разработаны специализированные методы. Croston раздельно оценивает размер ненулевого спроса и интервал между событиями. Модификация Syntetos-Boylan Approximation (SBA) корректирует смещение исходного метода [5]. Teunter-Syntetos-Babai (TSB) вместо интервала обновляет вероятность появления спроса, включая периоды с нулевыми продажами [6]. Эти свойства делают TSB потенциально полезным для товарных рядов с частыми нулями.

В качестве метода машинного обучения выбран XGBoost – алгоритм градиентного бустинга над решающими деревьями [7]. Его преимущество для рассматриваемой задачи состоит в возможности совместного учета лагов спроса, скользящих статистик и календарных признаков. Для e-commerce важна и детализация прогноза: в исследовании e-grocery задача формулировалась на уровне конкретного SKU, локального распределительного склада и периода [8], что методологически близко к кластерной постановке настоящей работы.

2. Методика исследования

Исследование выполнено на обезличенных данных продавца маркетплейса за 26 месяцев – с 01.07.2024 по 31.08.2026. Исходный набор заказов включает 119 анонимизированных товарных артикулов. Для каждого заказа доступны дата, артикул, количество, статус, кластер фактической отгрузки и кластер доставки.

В качестве территориальной характеристики спроса выбран кластер доставки, поскольку он отражает регион формирования заказа. Кластер отгрузки характеризует текущее размещение запаса и может не совпадать с местом возникновения потребности. Поэтому базовый объект прогнозирования определяется как спрос товара i в кластере j за период t.

Формально объект прогнозирования можно представить следующим образом:

$$D(i, j, t)$$

где i – товарный артикул; j – кластер доставки; t – временной период.

Первичный анализ ежедневных данных показал высокую разреженность. Для медианного сочетания «артикул – кластер» доля дней без заказов была близка к 98%. Для экспериментальной части спрос агрегирован по неделям, что одновременно уменьшает долю нулевых наблюдений и соответствует практическому горизонту планирования поставок.

После отбора информативных сочетаний сформирована выборка из 60 временных рядов, охватывающих 21 артикул и 11 кластеров. Для повышения надежности оценки применен rolling backtesting: создано шесть последовательных контрольных окон по четыре недели. Та-

ким образом, итоговые метрики рассчитывались по 24 контрольным неделям каждого временного ряда.

Сопоставлялись восемь методов: Naive, Moving Average с окном четыре недели, ETS, SARIMA, Croston, SBA, TSB и XGBoost. Для XGBoost использованы лаги 1, 2, 3, 4, 8, 13, 26 и 52 недели, средние значения за 4, 8 и 13 недель, показатель вариативности и календарные признаки. Для Croston и SBA коэффициент сглаживания принят равным 0,1; для TSB применены коэффициенты 0,1 для размера спроса и вероятности его возникновения.

Качество прогноза оценивалось по MAE, RMSE, WAPE, sMAPE и относительному систематическому смещению Bias. Использование WAPE и sMAPE обусловлено наличием нулевых значений, при которых обычная MAPE становится некорректной. Дополнительно временные ряды классифицированы на smooth, intermittent, erratic и lumpy по среднему интервалу между событиями спроса и квадрату коэффициента вариации размера ненулевого спроса.

Основные метрики рассчитывались по формулам:

$$MAE = (1/n)\,\Sigma\,|y(t) - \hat{y}(t)|,$$
$$RMSE = \sqrt{[(1/n)\,\Sigma\,(y(t) - \hat{y}(t))^2]},$$
$$WAPE = [\Sigma\,|y(t) - \hat{y}(t)| \,/\, \Sigma\,|y(t)|] \times 100\ \%.$$

3. Результаты экспериментального исследования

Как видно из табл. 1, минимальные значения MAE и WAPE получены для ETS: 2,445 единицы и 47,41% соответственно. По сравнению с Naive абсолютная ошибка снизилась приблизительно на 10,6%. XGBoost показал близкий WAPE – 47,65%, но обеспечил минимальные RMSE 3,630 и sMAPE 57,80%.

Таблица 1

Сравнение точности методов прогнозирования

Метод	MAE	RMSE	WAPE, %	sMAPE, %	Bias, %
Naive	2,735	4,027	53,04	70,19	-12,75
MA(4)	2,521	3,660	48,87	62,54	-13,24
ETS	2,445	3,642	47,41	59,29	-13,76
SARIMA	2,473	3,763	47,94	60,76	-21,49
Croston	2,506	3,876	48,58	59,87	-23,42
SBA	2,543	3,965	49,31	61,15	-27,25
TSB	2,476	3,824	48,00	58,58	-20,22
XGBoost	2,458	3,630	47,65	57,80	-9,46

Дополнительным преимуществом XGBoost стало меньшее отрицательное смещение прогноза. Bias модели составил -9,46%, тогда как для ETS -13,76%, TSB -20,22%, SARIMA -21,49%. Отрицательное смещение означает систематическое недооценивание будущего спроса. Для планирования поставок это практически значимо, поскольку устойчивый недопрогноз повышает вероятность дефицита.

Результаты не подтверждают безусловного превосходства более сложных моделей. SARIMA уступила ETS по основным метрикам, а Croston и SBA не превзошли обычное экспоненциальное сглаживание. Для проверки устойчивости улучшений относительно базовой модели проведено парное сравнение абсолютных ошибок критерием Вилкоксона. Для ETS и XGBoost различия относительно Naive статистически значимы при $p < 0{,}001$.

Классификация показала, что из 60 рядов 16 относятся к smooth, 35 – к intermittent, 5 – к erratic и 4 – к lumpy. Следовательно, 58,3% исследованных сочетаний имеют прерывистый

характер спроса. Табл. 2 показывает, что лидер зависит от класса: для smooth минимальный WAPE получил ETS, для intermittent – TSB, а для erratic и lumpy – четырехнедельное скользящее среднее.

Таблица 2

Лучшие методы по типам спроса

Тип спроса	Количество рядов	Лучший метод	WAPE, %
Smooth	16	ETS	42,60
Intermittent	35	TSB	48,43
Erratic	5	MA(4)	46,14
Lumpy	4	MA(4)	51,23

Анализ отдельных rolling-окон также не выявил постоянного лидера: минимальный WAPE в различных контрольных периодах показывали SARIMA, Croston, TSB, ETS и XGBoost. Следовательно, одна модель не обеспечивает устойчивого преимущества одновременно для всех периодов и структур спроса.

4. Применение результатов в интеллектуальной системе управления поставками

Полученные результаты предполагается использовать как основу прогнозного модуля интеллектуальной системы автоматизации поставок. На вход модуля поступает история недельного спроса по сочетанию «артикул – кластер», а на выходе формируется прогноз на горизонт планирования поставки.

Выход прогнозного модуля можно определить как:

$$D(i, j, t + h),$$

где h – горизонт планирования поставки.

Эксперимент не позволяет обоснованно выбрать единственный универсальный алгоритм. Более перспективной представляется архитектура, в которой перед прогнозированием оцениваются характеристики ряда: средний интервал между событиями спроса, вариативность ненулевого спроса, объем продаж, доля нулевых периодов и тренд. Далее система может выбирать модель или комбинацию моделей с учетом этих признаков. При этом проведенное исследование не доказывает преимущество конкретного алгоритма автоматического выбора; оно обосновывает необходимость его дальнейшей разработки.

Вектор характеристик ряда может быть представлен как:

$$C(i, j) = f(ADI, CV^2, V, Z, T),$$

где ADI – средний интервал между событиями спроса; CV^2 – вариативность размера ненулевого спроса; V – объем спроса; Z – доля нулевых периодов; T – характеристика тренда.

Прогноз спроса является первым этапом управления поставками. На следующем уровне прогнозная потребность должна объединяться с текущими остатками, товарами в пути, страховым запасом и параметрами логистики для расчета рекомендуемого объема поставки на конкретный склад. Такая постановка связывает прогнозирование в разрезе «товар – территориальный кластер – период» с задачей распределения складских запасов.

Практическая применимость интеграции прогнозирования с управлением запасами подтверждается опытом крупных e-commerce компаний. В работе Y. Deng и соавторов описано внедрение в Alibaba моделей прогнозирования, управления запасами и оптимизации, обеспечивших значимый экономический эффект [9].

Выводы

В работе проведен сравнительный анализ восьми методов прогнозирования спроса применительно к автоматизации поставок на склады маркетплейсов. На основе реального обезличенного набора данных сформированы недельные временные ряды «артикул – кластер доставки». Экспериментальная выборка включала 60 рядов, 21 товарный артикул и 11 территориальных кластеров.

Установлено, что 58,3% исследованных рядов относятся к прерывистому спросу. По совокупности контрольных периодов ETS продемонстрировал минимальные MAE 2,445 и WAPE 47,41%, тогда как XGBoost обеспечил минимальные RMSE 3,630, sMAPE 57,80% и наименьшее отрицательное смещение 9,46%. TSB показал лучший WAPE внутри группы intermittent, но специализированные методы не обеспечили универсального превосходства на всей выборке.

Полученные результаты свидетельствуют, что прогнозный модуль интеллектуальной системы не должен опираться на один метод для всех товарных позиций и территорий. Перспективным направлением является разработка механизма адаптивного выбора или комбинирования моделей с учетом статистических характеристик конкретного временного ряда. В дальнейшем прогноз предполагается интегрировать с данными об остатках и территориальном размещении запасов для автоматизированного расчета объемов поставок.

Список литературы

1. Babai M. Z., Boylan J. E., Rostami-Tabar B. Demand forecasting in supply chains: a review of aggregation and hierarchical approaches // International Journal of Production Research. 2022. Vol. 60, № 1. P. 324-348. DOI: 10.1080/00207543.2021.2005268.

2. Taghiyeh S., Lengacher D. C., Sadeghi A. H., Sahebi-Fakhrabad A., Handfield R. B. A novel multi-phase hierarchical forecasting approach with machine learning in supply chain management // Supply Chain Analytics. 2023. Vol. 3. Art. 100032. DOI: 10.1016/j.sca.2023.100032.

3. Douaioui K., Oucheikh R., Benmoussa O., Mabrouki C. Machine Learning and Deep Learning Models for Demand Forecasting in Supply Chain Management: A Critical Review // Applied System Innovation. 2024. Vol. 7, № 5. Art. 93. DOI: 10.3390/asi7050093.

4. Tian X., Wang H., E E. Forecasting intermittent demand for inventory management by retailers: A new approach // Journal of Retailing and Consumer Services. 2021. Vol. 62. Art. 102662. DOI: 10.1016/j.jretconser.2021.102662.

5. Syntetos A. A., Boylan J. E. The accuracy of intermittent demand estimates // International Journal of Forecasting. 2005. Vol. 21, № 2. P. 303-314. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2004.10.001.

6. Teunter R. H., Syntetos A. A., Babai M. Z. Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence // European Journal of Operational Research. 2011. Vol. 214, № 3. P. 606-615. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.05.018.

7. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2016. P. 785-794. DOI: 10.1145/2939672.2939785.

8. Ulrich M., Jahnke H., Langrock R., Pesch R., Senge R. Distributional regression for demand forecasting in e-grocery // European Journal of Operational Research. 2021. Vol. 294, № 3. P. 831-842. DOI: 10.1016/j.ejor.2019.11.029.

9. Deng Y., Zhang X., Wang T., Wang L., Zhang Y., Wang X., Zhao S., Qi Y., Yang G., Peng X. Alibaba Realizes Millions in Cost Savings Through Integrated Demand Forecasting, Inventory Management, Price Optimization, and Product Recommendations // INFORMS Journal on Applied Analytics. 2023. Vol. 53, № 1. P. 32-46. DOI: 10.1287/inte.2022.1145.

УДК 338

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ РОССИЙСКИХ IT-ГИГАНТОВ (ЯНДЕКС, VK, СБЕР): ОТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СЕРВИСОВ К СУПЕРАППЛИКАЦИЯМ (2020–2025 гг.)

Муртазина Г.Р., к.э.н., доцент кафедры сервиса и туризма ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»; доцент кафедры «Финансы и кредит» УВО «Университет управления «ТИСБИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-4871-2563;
E-mail: gulamur31@gmail.com

FORMATION OF ECOSYSTEMS OF RUSSIAN IT-GIANTS (YANDEX, VK, SBER): FROM SPECIALIZED SERVICES TO SUPERAPPLICATIONS (2020–2025)

Murtazina G.R., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor Department of Service and Tourism, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism; Associate Professor of Finance and Credit Department UVO "University of Management "TISBI", Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-4871-2563;
E-mail: gulamur31@gmail.com

Аннотация

В статье исследуется стратегическая трансформация ключевых игроков российского цифрового рынка – компаний «Яндекс», VK и «Сбер» – в период с 2020 по 2025 год. Фокус анализа смещен с традиционной диверсификации на процесс формирования экосистем и суперапликаций как доминирующей бизнес-модели. Рассматриваются движущие силы данного перехода, включая изменение потребительских ожиданий, усиление конкурентной борьбы за внимание пользователя и поиск новых точек роста. На основе анализа продуктовых портфелей и интеграционных решений выявляются общие закономерности и специфические черты в подходах каждой компании к построению многосервисных платформ. Особое внимание уделяется роли суперапликаций как центрального элемента современных экосистем, агрегирующего множество услуг в едином интерфейсе. Делается вывод об устойчивости тренда на конвергенцию цифровых сервисов и его влиянии на структуру рынка и поведение потребителей.

Ключевые слова: экосистема, суперапликация, диверсификация, цифровизация, IT-гиганты, платформа, интеграция сервисов, потребительское поведение

Abstract

The article examines the strategic transformation of the key players in the Russian digital market – Yandex, VK, and Sber – from 2020 to 2025. The focus of the analysis shifts from traditional diversification to the process of forming ecosystems and superapps as the dominant business model. The driving forces behind this transition are considered, including changing consumer expectations, increased competition for user attention, and the search for new growth points. Based on an analysis of product portfolios and integration solutions, common patterns and specific features in each company's approach to building multi-service platforms are identified. Particular attention is paid to the role of superapps as the central element of modern ecosystems, aggregating multiple services within a single interface. The conclusion is made about the sustainability of the trend towards the convergence of digital services and its impact on market structure and consumer behavior.

Keywords: ecosystem, superapp, diversification, digitalization, IT giants, platform, service integration, consumer behavior

Введение

Период 2020–2025 гг. стал для российского цифрового рынка временем радикальной трансформации бизнес-стратегий его ключевых участников. Если ранее компании, такие как «Яндекс» (поиск и медиа), VK (социальные сети) и «Сбер» (финансовые услуги), развивались преимущественно в своих специализированных нишах, то в рассматриваемый период их деятельность перешла в новую фазу – активного строительства многопрофильных экосистем с суперапликацией в качестве центрального узла. Данный переход обусловлен комплексом факторов: насыщением базовых рынков, возросшей ценностью времени и лояльности пользователя, а также стремлением к синергии между разнородными сервисами. Целью данной статьи является анализ стратегий экосистемной диверсификации «Яндекса», VK и «Сбера», выявление их сходств и различий, а также оценка ключевых результатов и перспектив модели суперапликации в российском контексте.

Теоретические предпосылки и движущие силы трансформации

Концепция цифровой экосистемы подразумевает сеть взаимосвязанных и взаимодополняющих сервисов, объединенных общей платформой, идентификацией пользователя и системой монетизации [1]. Логическим развитием этой модели является суперапликация – мобильное приложение, выходящее далеко за рамки первоначальной функции и агрегирующее множество услуг (от коммуникаций и развлечений до финансов, коммерции и госуслуг) в едином интерфейсе. Глобальными прототипами выступают WeChat и AliPay.

Для российского рынка катализаторами перехода к этой модели стали: 1) пандемия COVID-19, ускорившая цифровую адаптацию населения и бизнеса; 2) изменение регуляторной и макроэкономической среды, побудившее компании к поиску внутренних точек роста; 3) обострение конкуренции, когда лояльность пользователя стала определяться не одним сервисом, а широтой и удобством предлагаемого пакета решений [2].

Сравнительный анализ стратегий экосистемного строительства «Яндекс». Исходя из доминирования в поиске, картографии и навигации, «Яндекс» последовательно превратил свое основное приложение в суперапликацию «Яндекс». В него были интегрированы сервисы такси и доставки (Яндекс Go, Яндекс Лавка, Яндекс Еда), медиа (Музыка, Кинопоиск, Афиша), финансы (Яндекс Пэй), телеком (Яндекс Плюс) и другие. Ключевой акцент сделан на технологии, машинное обучение для персоназации и единую учетную запись Яндекс ID, связывающую все сервисы. Экосистема строится вокруг сценариев повседневной жизни (передвижение, питание, развлечения, покупки), где поиск выступает как естественная точка входа.

VK. Отталкиваясь от социальной сети «ВКонтакте» и коммуникационных сервисов (Почта Mail.ru, Мессенджер), VK сделала ставку на интеграцию развлекательного и игрового контента, коммерции и образования. Суперапликацией стала обновленная версия VK, объединившая ленту, мессенджер, видео- и аудиосервисы (VK Видео, VK Музыка), сервис заказов VK Доставка, платформу VK Работа и др. Особенность стратегии VK – сильный акцент на социальную составляющую и коммуникации как основу для удержания аудитории, вокруг которой наращиваются дополнительные услуги.

«Сбер». Совершив наиболее драматичный переход из статуса традиционного банка в IT-холдинг, «Сбер» построил экосистему вокруг финансового ядра. Суперапликация «СберБанк Онлайн» эволюционировала в многофункциональную платформу, включившую в себя не только банковские операции, но и рынок (SberMegaMarket), доставку еды (СберЕда), стриминг (SberSound, Okko), услуги для бизнеса (SberBusiness), медицину (СберЗдоровье) и многое другое. Стратегия «Сбера» характеризуется агрессивными инвестициями и приобретениями, а также активным использованием данных о финансовых потоках клиентов для развития нефинансовых сервисов. Сравнительный анализ стратегий экосистемной диверсификации приведен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ стратегий экосистемной диверсификации (2020–2025 гг.)

Критерий анализа	«Яндекс»	VK	«Сбер»
Исходная ключевая компетенция	Поиск, навигация, алгоритмы и данные	Социальные сети, коммуникации, развлечения	Финансовые услуги, клиентская база, капитал
Ядро супераппликации	Приложение «Яндекс» (поиск + сервисы)	Приложение «VK» (соцсеть + коммуникации)	Приложение «СберБанк Онлайн» (финансы + сервисы)
Ключевые векторы диверсификации	Мобильность (Go), медиа (Плюс), коммерция (Лавка, Маркет), облака, образование	Коммуникации (Мессенджер, Почта), медиа (Видео, Музыка, Игры), коммерция (Доставка, Объявления), образование (Знания)	Коммерция (MegaMarket), медиа (Okko, SberSound), здоровье (СберЗдоровье), авто (СберАвто), девелопмент (Домклик), облака
Бизнес-модель экосистемы	Технократическая: Интеграция через единые технологии (AI, платформа), персонализация на основе данных поиска и геолокации. Монетизация – реклама, комиссии, подписки.	Социоцентричная: Интеграция вокруг социального графа и коммуникаций. Удержание аудитории за счет контента и общения. Монетизация – реклама, VAS, комиссии.	Финансоцентричная: Интеграция через финансовый кошелек и клиентские отношения банка. Кросс-продажи от финансов к нефинансовым услугам. Монетизация – комиссии, проценты, подписки.
Роль супераппа	«Умный ассистент для жизни»: Точка входа через поиск или сценарий (поездка, еда). Акцент на удобство и экономию времени.	«Цифровая гостиная»: Точка входа для общения и досуга. Акцент на вовлеченность и времяпрепровождение.	«Цифровой кошелек и центр услуг»: Точка входа для управления финансами и жизненными задачами. Акцент на полезность и надежность.
Основной источник данных	Поведение в поиске, геолокация, история поездок и заказов.	Социальная активность, предпочтения в контенте, коммуникации.	Финансовые транзакции, кредитная история, крупные покупки.
Ключевой вызов	Управление растущей сложностью экосистемы, сохранение технологического лидерства, регуляторное давление.	Создание бесшовного опыта между разрозненными сервисами (наследие Mail.ru Group), монетизация beyond рекламы.	Преодоление восприятия как «банка», культурная трансформация, высокая стоимость агрессивных инвестиций.

Общие тренды и уникальные черты

Анализ, приведенный на рис. 1, показывает наличие общих трендов:

1. Гонка за DAU/MAU: Супераппликация становится инструментом максимизации ежедневного времени пользователя внутри экосистемы;

2. Кросспродажи и синергия: Сервисы взаимно стимулируют спрос (например, кэшбэк за заказ такси баллами из банковского приложения);

3. Единая идентификация: Яндекс ID, VK ID, аккаунт Сбера становятся цифровыми паспортами пользователя;

4. Конкуренция экосистем, а не отдельных сервисов: Битва идет за общий клиентский опыт.

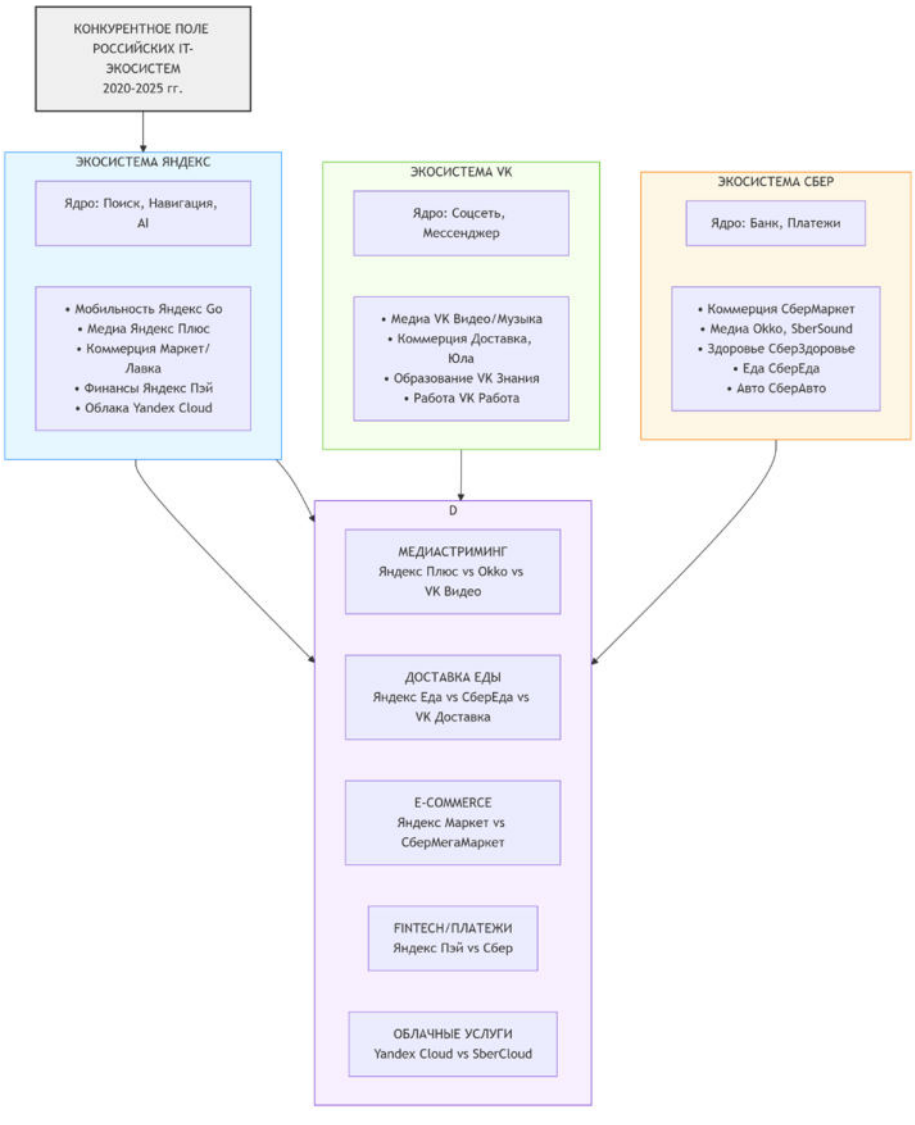


Рис. 1. Конкурентное поле российских экосистем и пересечение их сервисов

Уникальность подходов заключается в разных точках старта и ключевых компетенциях: «Яндекс» – технологии и данные, VK – социальный граф и коммуникации, «Сбер» – финансовые ресурсы и доверие клиентов. Это определяет архитектуру и приоритеты развития их суперапплликаций.

Заключение

Период 2020–2025 гг. ознаменовался завершением перехода ведущих российских IT-компаний от модели специализированных провайдеров к модели экосистемных игроков. Суперапплликация утвердилась в качестве центрального элемента этой модели, выполняя роль главного интерфейса взаимодействия с пользователем и механизма удержания его внутри экосистемы. Стратегии «Яндекса», VK и «Сбера», при всей их специфике, демонстрируют конвергенцию в сторону создания универсальных платформ, охватывающих большинство цифровых потребностей человека. Успех в этой конкуренции зависит от способности достигать технологической и сервисной синергии, обеспечивая бесшовный и персонализированный

опыт. Данный тренд является устойчивым и будет определять развитие российского цифрового рынка в ближайшей перспективе, повышая входные барьеры для новых игроков и формируя новый стандарт ожиданий потребителей.

Таблица 2

Оценка результатов и эффектов экосистемной трансформации (к 2025 г.)

Параметр оценки	Проявления и эффекты	Влияние на рынок и потребителя
Для компаний	1. Синергия и кросспродажи: Рост среднего чека (ARPU) за счет продажи пакетов услуг (например, подписка «Плюс» с медиа, доставкой и скидками). 2. Данные как актив: Глубокий 360-градусный портрет клиента повышает эффективность маркетинга и разработки новых сервисов. 3. Лояльность и switching costs: Пользователю сложнее уйти из экосистемы, теряя интеграцию, историю и бонусы. 4. Новые риски: Репутационные, операционные и регуляторные риски распределяются на весь портфель услуг.	Консолидация рынка: Барьеры для входа новых игроков критически высоки. Конкуренция ведется между 3-4 экосистемами, а не между сотнями точечных сервисов.
Для потребителей	1. «Одно окно»: Удобство и экономия времени на переключении между приложениями. 2. Персонализация: Сервисы предугадывают потребности (например, напоминание оплатить счет, предложение ресторана). 3. Экономия: Системы лояльности, общие баллы, пакетные подписки. **4. Зависимость и «эффект walled garden»: Пользователь замыкается в одной экосистеме, что может ограничивать выбор и повышать цены в долгосрочной перспективе.	Новый стандарт ожиданий: Пользователь ждет бесшовной интеграции, кроссплатформенности и персонализированного подхода от любого цифрового сервиса.
Для рынка в целом	1. Стирание отраслевых границ: Банки конкурируют с медиахолдингами, IT-компании – с ритейлерами. 2. Формирование инфраструктурных платформ: Экосистемы становятся основой для цифровизации смежных отраслей (рестораны, клиники, образование). 3. Усиление внимания регулятора: Возникают вопросы о конкуренции, защите данных (big data), и системной важности экосистем.	Переход к фазе зрелости: Рост за счет захвата долей рынка друг у друга и углубления проникновения в жизнь существующих пользователей, а не за счет притока новых.

Список литературы

1. Гаврилов Л. П., Смирнова М. В. Цифровые экосистемы как новая парадигма развития бизнеса // Вестник СПбГУ. Экономика. 2021. Т. 37. Вып. 3. – С. 456–475.

2. Тарасов И.А. Трансформация рынка IT-услуг в России: от продуктов к экосистемам // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 11 (148). – С. 287–291.

3. Официальный блог «Яндекса»: Развитие экосистемы [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/company/blog_ecosystem (дата обращения: 05.07.2026).

4. Стратегия развития VK до 2025 года: Презентация для инвесторов [Электронный ресурс]. 2022. – URL: https://vk.company/upload/investors/VK_Strategy_2025.pdf (дата обращения: 15.08.2026).

5. Годовой отчет ПАО «Сбербанк» за 2023 год [Электронный ресурс]. М., 2024. – URL: https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/files/annual_report/2023/sberbank_annual_report_2023.pdf (дата обращения: 15.07.2026).

6. Parker G.G., Van Alstyne M.W., Choudary S.P. Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You. N.Y.: W.W. Norton & Company, 2016. 336 p.

7. Келли К. Новое технологическое суперприложение: уроки WeChat // Harvard Business Review – Россия. – 2020. –№ 5. – С. 34–41.

8. Иванова Е.С., Федоров Д.В. Влияние супераппов на потребительское поведение в условиях цифровой экономики // Российское предпринимательство. – 2023. – Т. 24. № 4. – С. 1125–1142.

9. Статистические данные по аудитории интернет-сервисов в России [Электронный ресурс] // Mediascope. – 2024. – URL: https://mediascope.net (дата обращения: 10.08.2026).

10. Розанова Н. М. Конкуренция цифровых платформ и экосистем: теория и практика // Журнал Новой экономической ассоциации. –2020. –№ 3 (47). – С. 196–204.

УДК 659.1:004.8

АНАЛИТИКА ВЛИЯНИЯ РЕКЛАМЫ, СОЗДАННОЙ ГЕНЕРАТИВНЫМИ НЕЙРОСЕТЯМИ, НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ДОВЕРИЯ И НАМЕРЕНИЯ К ПОКУПКЕ

Низамутдинова З.Ф., научный сотрудник Института Татарской энциклопедии и регионоведения им. М. Хасанова Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0002-6933-5867;
Фахрисламова К.А., студент бакалавриата Института филологии и межкультурной коммуникации ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-6985-6456

THE ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE ADVERTISIMENTS CREATED BY GENERATIVE NEURAL NETWORKS ON THE FORMATION OF THE CONSUMER TRUST AND PURCHASE INTENTION

Nizamutdinova Z.F., Researcher at the M. Khasanov Institute of the Tatar Encyclopedia and Regional Studies of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0002-6933-5867;
Fakhrislamova K.A., undergraduate student, Institute of Philology and Intercultural Communication, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-6985-6456

Аннотация

В данной статье рассматривается аналитика влияния рекламных материалов, сгенерированных с помощью нейросетей, на потребительское доверие и готовность совершить покупку. Описаны основные этапы исследовательской работы: от сравнительного анализа восприятия традиционной и синтезированной рекламы до количественной оценки поведенческих факторов с использованием экспериментальных методов. Особое внимание уделено роли

перцептивного правдоподобия и эмоционального отклика, формируемых генеративными моделями, в структуре покупательского намерения. Работа демонстрирует интеграцию методов маркетинговой аналитики и нейротехнологий для оценки эффективности автоматизированного креатива в цифровой среде.

Ключевые слова: генеративные нейросети, потребительское доверие, намерение к покупке, рекламная коммуникация, поведенческая аналитика, искусственный интеллект в маркетинге

Abstract

This article examines the analysis of the impact of advertising materials generated using neural networks on consumer trust and willingness to make a purchase. The main stages of the research work are described: from a comparative analysis of the perception of traditional and synthesized advertising to a quantitative assessment of behavioral factors using experimental methods. Special attention is paid to the role of perceptual plausibility and emotional response generated by generative models in the structure of purchase intention. The work demonstrates the integration of marketing analytics methods and neurotechnologies to evaluate the effectiveness of automated creativity in a digital environment.

Keywords: generative neural networks, consumer trust, purchase intention, advertising communication, behavioral analytics, artificial intelligence in marketing

Стремительное развитие генеративных нейросетей в последние годы привело к тому, что искусственный интеллект проник практически во все сферы человеческой деятельности – от образования и медицины до искусства и производства. Маркетинг и реклама не стали исключением: сегодня алгоритмы способны создавать тексты, изображения, видео и аудиоролики, которые по качеству не уступают работам профессиональных копирайтеров и дизайнеров, а по скорости и масштабируемости превосходят их в разы. Однако вместе с технологическими возможностями возникает принципиальный вопрос: как потребители воспринимают рекламу, созданную машиной, а не человеком? Доверяют ли они ей так же, как традиционным креативам? И влияет ли это доверие на реальное покупательское поведение?

В современной научной литературе активно обсуждаются технические аспекты генерации контента (GAN, диффузионные модели, LLM), однако эмпирических исследований, посвящённых именно поведенческим реакциям на такую рекламу, пока недостаточно.

Главной целью исследования стало проанализировать особенности потребительского поведения при взаимодействии с рекламными материалами (рекламный контент), созданными с помощью генеративных нейросетей, а именно: изучение степени доверия потребителей к такой рекламе и оценка её влияния на намерение совершить покупку (отношение потребителей к этому контенту и его эффект на поведенческие интенции). В соответствии с поставленной целью в статье с решаются следующие задачи:

– провести теоретический анализ существующих подходов к оценке эффективности рекламы и факторов доверия;

– разработать методику экспериментального сравнения восприятия «человеческой» и «нейросетевой» рекламы;

– выявить ключевые параметры (эмоциональная вовлечённость, перцептивное правдоподобие, субъективное качество), влияющие на доверие;

– количественно оценить корреляцию между доверием и покупательским намерением.

Исследование включает методы онлайн опроса, изучение разных рекламных кампаний, созданных с помощью генеративных нейросетей, также статистического анализа. Выявлена научная новизна статьи в систематизации факторов доверия именно к синтетической рекламе и в получении эмпирических данных о связи доверия и продаж в контексте автоматизированного креатива. Практическая значимость результатов обусловлена возможностью их исполь-

зования маркетинговыми агентствами и брендами для оптимизации стратегий применения ИИ в рекламных кампаниях.

В условиях цифровизации маркетинга и стремительного внедрения генеративных нейросетей в рекламную индустрию возникает необходимость переосмысления традиционных способов и подходов к оценке рекламных кампаний. Ранее ключевыми факторами в оценке эффективности являлись креативность, охват и частота контакта, сегодня же на первый план выходят вопросы достоверности, подлинности и доверия – особенно в контексте контента, созданного искусственным интеллектом. Это обусловливает важность систематического теоретического анализа существующих моделей и выявления их применимости к новым реалиям.

Для начала рассмотрим эволюцию основных подходов оценки эффективности рекламы, так как изменение самого характера рекламного контента. Я рассмотрю модели AIDA, DAGMAR, модель иерархии эффектов, модель RACE.

AIDA (attention, interest, desire, action) – это модель, которая лучше всего описывает привлечение внимания и побуждает к действию. Она была разработана американским маркетологом Э. Левисом еще в начале XX века и является фундаментальной в сфере маркетинга. Согласно этой модели, потребитель в процессе принятия решения о покупке последовательно проходит четыре стадии: привлечение внимания к рекламному сообщению, формирование интереса к товару, возникновение желания обладать им и, наконец, совершение действия – непосредственно покупки. Сейчас данную модель используют для создания рекламных материалов. Появился этап «satisfaction» (удовлетворение) в модель AIDA добавил Артур Фредрик Шелдон в 1911 году [1]. Это расширило классическую модель до версии AIDAS.

Важным этапом развития теории рекламной эффективности стала модель DAGMAR, предложенная Расселом Колли в 1961 году. Он утверждал, что цели рекламы должны определяться до кампании и быть измеримыми. Модель предполагает последовательное прохождение аудиторией четырёх стадий: осведомлённость (awareness), понимание (comprehension), убеждённость (conviction) и действие (action). В отличие от AIDA, DAGMAR смещала фокус с конечных продаж на промежуточные коммуникационные эффекты, что позволяло точнее диагностировать проблемные этапы взаимодействия с потребителем.

Параллельно развивалась модель иерархии эффектов Лавиджа и Штайнера (1961), выделяющая когнитивный, аффективный и конативный уровни воздействия. Её развитием стала концепция воронки продаж, описывающая последовательное сужение выбора от осведомлённости о товарах до покупки. Однако к концу XX века модель критиковали за игнорирование нерационального, импульсивного поведения потребителей и неадаптированность к новым медиа.

В связи с недостатками модели иерархии объектов, была разработана модель RACE (Reach, Act, Convert, Engage). Эта модель выделяет четыре стратегических этапа взаимодействия с потребителем в цифровой среде. Первый этап «reach» (охват) привлекает внимание и формирует осведомлённость; второй этап «act» (действие) – вовлекает аудиторию во взаимодействие с брендом на сайте или в приложении. Третий же этап «convert» (конверсия) – превращает посетителей в покупателей. Последний этап «engage» (вовлечение) – отвечает за построение долгосрочных отношений и стимулирует повторные продажи. В отличие от классических моделей, RACE учитывает нелинейность потребительского пути и уделяет особое внимание постпродажному этапу, который критически важен для формирования лояльности и доверия.

Классические и современные модели оценки эффективности рекламы фокусируются на поведенческих исходах (осведомлённость, конверсия, удержание). Ключевое место среди механизмов восприятия занимает доверие, которое опосредует отношение к рекламе и бренду, влияя на готовность к покупке, однако оно не поддаётся прямому количественному измерению. С внедрением генеративных нейросетей возникает вопрос: сохраняют ли силу традиционные механизмы доверия, когда контент создаётся алгоритмом, и как «машинное»

происхождение трансформирует восприятие достоверности? Эмпирические данные противоречивы: одни потребители видят в ИИ-рекламе прогрессивность, другие – угрозу честности. Классические теории доверия не дают объяснения этому противоречию, поскольку не учитывают специфику «машинного» авторства. Это образует теоретический пробел, требующий эмпирического исследования факторов доверия к ИИ-рекламе и их связи с покупательским намерением.

В связи с необходимостью восполнить этот теоретический пробел, мной был совершен опрос, на основе общественного мнения на тему восприятии рекламы, сгенерированной с помощью нейросетей. Опрос охватил 25 участников разных возрастов, мужчин и женщин как из России, так и из других стран. Сам опросник состоял из 4 блоков на тему: видео, фото, аудио-генерация рекламного контента генеративными нейросетями, где качестве примера я использовала рекламный видеоролик «Кока-колы» в блоке видео, рекламную кампанию бренда «Mango» в блоке фото, мнения насчет аудио генераций, также были заданы открытые вопросы на тему отношения к использованию искусственного интеллекта в рекламной деятельности. На диаграмме можно увидеть результаты опроса. В начале было выяснено отношение респондентов к искусственному интеллекту. Результаты представлены на рис. 1.



Рис. 1. Результаты опроса, отношение к использованию искусственного интеллекта в целом, автор: К.А. Фахрисламова, руководитель: З.Ф. Низамутдинова, ИФМК КФУ, август, 2026

Полученные данные свидетельствуют о преимущественно позитивном отношении респондентов к искусственному интеллекту в целом. Суммарная доля положительных оценок («очень положительно» и «скорее положительно») составляет 68%, что указывает на высокий уровень технологического оптимизма в выборке. 24% опрошенных занимают нейтральную позицию, что может отражать либо недостаточную осведомлённость, либо отсутствие сформированного мнения. Негативные оценки выражены слабо (всего 8%), а крайне негативное отношение отсутствует полностью. Этот результат важен для интерпретации последующих данных, поскольку высокий уровень доверия к ИИ в целом может смягчать негативное восприятие ИИ-рекламы (например, респонденты с позитивным отношением к технологиям могут быть более лояльны к рекламе, созданной нейросетями). Далее была выяснена степень доверия к рекламе, если указывалось, что она была сделана с помощью искусственного интеллекта (рис. 2).



Рис. 2. Результаты опроса, показывающие влияние отсутствия информации о создании рекламы с помощью искусственного интеллекта к доверию аудитории к бренду в блоке видео, автор: К.А. Фахрисламова, руководитель: З.Ф. Низамутдинова, ИФМК КФУ, август, 2026 г.

На данной диаграмме четко видно, что большая доля респондентов (полностью согласен 36% и частично согласен 12%), все же позитивно относится к факту упоминания использования генеративных нейросетей в рекламе. Однако все же есть скептично настроенные респонденты (частично не согласен 20% и полностью не согласен 8%).

На примере испанского бренда «Mango» коллекции «Teen Sunset Dream Collection» была проанализирована степень доверия к коллекции, фото которой было создано нейросетями (рис. 3).



Рис. 3. Результаты опроса, показывающие доверие к бренду Mango, использующему ИИ вместо реальных моделей. Автор: К.А. Фахрисламова, руководитель: З.Ф. Низамутдинова, ИФМК КФУ, август, 2026 г.

Результаты показывают, что использование ИИ вместо реальных моделей воспринимается большинством респондентов как угроза искренности бренда. Это согласуется с теоретическим положением о важности персонификации и антропоморфизма для формирования доверия: замена реальных людей на синтетические образы нарушает ожидание «человеческого лица» и снижает воспринимаемую честность. При этом общее позитивное отношение к ИИ не переносится автоматически на все сценарии его применения – потребители проводят чёткое различие между технологией как таковой и её использованием в чувствительных к подлинности контекстах.

В рамках практической части исследования был проведён эксперимент по созданию баннерной рекламы для кукморских валенок с использованием генеративных нейросетей (ChatGPT). Цель эксперимента – продемонстрировать, как уровень проработки текстового запроса (промпта) влияет на визуальное качество, смысловую точность и маркетинговую убедительность рекламного материала. Для этого были разработаны два варианта промпта. В неавторском промпте использовался общий запрос без учёта культурной специфики, целевой аудитории и брендовых кодов. В авторском промпте использовался этнический контекст, эмоциональный настрой, фотореализм и акцент на ручной работе. Такой вариант был составлен на основе предварительного маркетингового анализа и теоретических выводов о роли персонификации и культурной идентичности в рекламе (рис. 4).

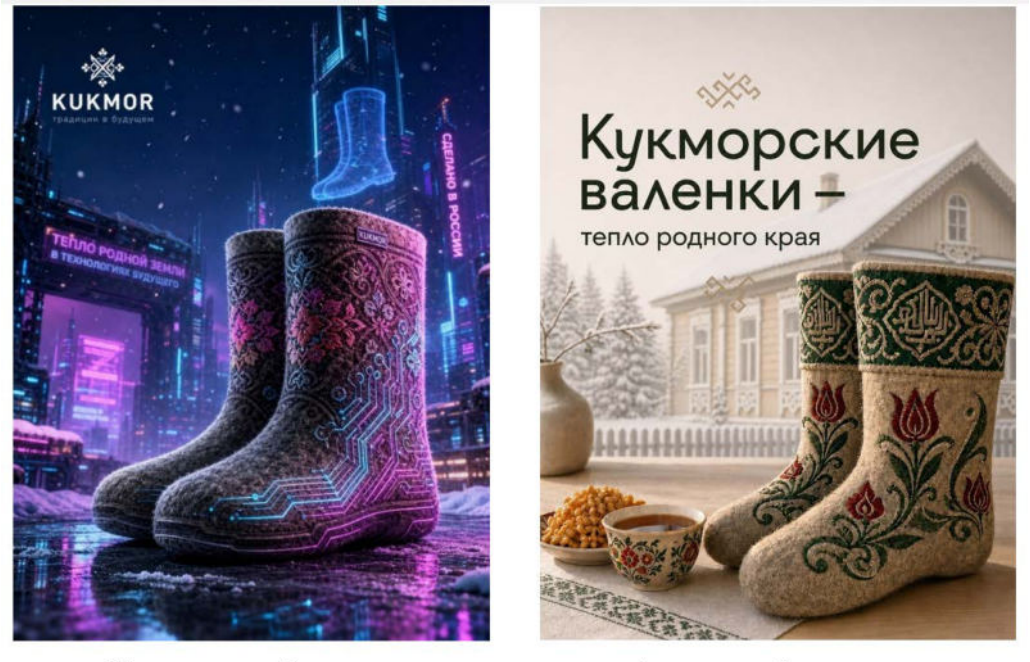


Рис. 4. Неавторский / Авторский промпт кукморских валенок с использованием нейросети ChatGPT. Автор: К.А. Фахрисламова, руководитель: З.Ф. Низамутдинова, ИФМК КФУ, август, 2026

Сопоставление двух баннеров подтверждает, что авторский промпт – это стратегический инструмент, позволяющий управлять стилем, доверием и смысловой нагрузкой генерируемой рекламы. Неавторский промпт, напротив, приводит к усреднённому, «обезличенному» контенту, который не способен вызвать доверие и желание приобрести товар.

Список литературы

1. Салита, С. В. Трансформация модели AIDA для эффективной маркетинговой коммуникации с потребителем через произведение искусства / С. В. Салита, Е. Ю. Гутько. – Текст :

электронный // Экономическое развитие России. – 2025. – № 5. – С. 108-111. – ISSN 2306-5001. – URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/374565 (дата обращения: 26.08.2026).

2. Сорокин, А. Б. Проектирование и обучение нейронных сетей (генеративные модели) : учебное пособие / А. Б. Сорокин, Р. Э. Семенов. – Москва : РТУ МИРЭА, 2025. – ISBN 978-5-7339-2562-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/504823 (дата обращения: 31.08.2026).

3. Федоров, В. А. Модель воздействия на потребителя «AIDA» в системе маркетинговых коммуникаций / В. А. Федоров. – Текст : электронный // Синергия наук. – 2017. – № 11. – С. 238-242. – URL: http://synergy-journal.ru/archive/article0505 (дата обращения: 31.08.2026).

4. Shelton, E. L. The Art of Selling : For Business Colleges, High Schools, and Private Schools / by E. L. Shelton. – New York : The Ronald Press Company, 1912. – URL: https://archive.org/details/artsellingforbu00shelgoog/page/n14/mode/2up (дата обращения: 31.08.2026).

5. AIDA. – Текст : электронный // Oxford Reference. – URL: https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803095707147 (дата обращения: 31.08.2026).

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ML PIPELINE ДЛЯ ИНТЕРПРЕТИРУЕМОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТТОКА КЛИЕНТОВ ТЕЛЕКОМ-КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SHAP/LIME И СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ИНТЕГРАЦИИ И ДОСТАВКИ

Нургалиев М.А., студент;
ORCID: 0009-0003-5052-2456;
E-mail: mnurgaliev63@gmail.com;
Байрашева В.Р., к.ф.-м.н., доцент КТК ИВМиИТ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ML PIPELINE FOR INTERPRETABLE CUSTOMER CHURN PREDICTION IN TELECOMMUNICATIONS USING SHAP/LIME AND CONTINUOUS INTEGRATION AND DELIVERY SYSTEM

Nurgaliev M.A., student;
ORCID: 0009-0003-5052-2456;
E-mail: mnurgaliev63@gmail.com;
Bayrasheva V.R., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor at Department of Theoretical Cybernetics, Institute of Compational Mathematics and Information Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia

Аннотация

Настоящая работа посвящена созданию автоматизированного решения для прогнозирования оттока клиентов телеком-компании, объединяющего методы машинного обучения, интерпретируемого искусственного интеллекта и генеративные языковые модели. Разработанная система охватывает полный цикл обработки данных: от формирования аналитической витрины на данных из хранилища до интерактивного веб-интерфейса, доступного пользователю без технической подготовки. Для объяснения прогнозов реализованы два взаимодополняющих подхода: SHAP обеспечивает глобальную интерпретацию и выявляет ключевые драйверы оттока, а LIME формирует локальные объяснения для отдельных клиентов. Резуль-

таты передаются большой языковой модели, которая генерирует конкретные меры удержания. Кодовая база была организована в модульную структуру, написаны юнит-тесты, выполнена контейнеризация всех сервисов и настроен CI/CD с автоматическим тестированием и сборкой Docker-образа. Пользовательский интерфейс предоставляет интерактивный дашборд с ключевыми бизнес-показателями, возможность детального анализа по каждому клиенту, визуализацию SHAP- и LIME-обоснований, а также интеграцию с Shapash.

Ключевые слова: прогнозирование оттока клиентов, телекоммуникации, машинное обучение, интерпретируемый искусственный интеллект, большие языковые модели, MLOps, Docker, SHAP, LIME

Abstract

This paper is devoted to the development of an automated solution for customer churn prediction in a telecommunications company, combining machine learning methods, explainable artificial intelligence, and generative language models. The developed system covers the complete data processing cycle: from building an analytical data mart based on a data warehouse to an interactive web interface accessible to a user without technical expertise. Two complementary approaches are implemented to explain predictions: SHAP provides global interpretability and identifies key churn drivers, while LIME generates local explanations for individual customers. Results are passed to a large language model, which generates specific retention measures. The codebase is organized into a modular structure, unit tests are written, all services are containerized, and a CI/CD pipeline with automated testing and Docker image building is configured. The user interface provides an interactive dashboard with key business metrics, detailed analysis for each customer, visualization of SHAP and LIME explanations, and integration with Shapash.

Keywords: customer churn prediction, telecommunications, machine learning, explainable artificial intelligence, large language models, MLOps, Docker, SHAP, LIME

Введение

На телекоммуникационном рынке управление оттоком клиентов становится одним из ключевых факторов сохранения выручки. Стоимость привлечения нового абонента, по различным оценкам, в 5-20 раз превышает стоимость удержания действующего, а потеря высокодоходных клиентов напрямую отражается на финансовых показателях оператора. В связи с этим своевременное выявление предотточных клиентов и формирование мер удержания приобретают для компаний стратегическое значение [1, 2].

За последние годы для прогнозирования оттока широко применяются методы машинного обучения. Однако с ростом сложности моделей обостряется проблема «черного ящика», то есть пользователям трудно понять, почему тот или иной клиент отнесен к зоне риска и на какие факторы следует воздействовать. Ответом на этот вызов стало развитие интерпретируемого искусственного интеллекта (XAI), методы которого связывают предсказания модели с понятными причинами и позволяют обосновывать предлагаемые меры удержания [3].

Отдельной проблемой является внедрение таких моделей в промышленную эксплуатацию. Требуется обеспечить воспроизводимый процесс: от формирования аналитической витрины данных до автоматизированного развертывания. Для решения этих задач сформировалось направление MLOps (Machine Learning Operations) – набор принципов, практик и инструментов, направленных на унификацию, автоматизацию и мониторинг полного жизненного цикла моделей машинного обучения [4].

Целью настоящей работы является разработка автоматизированного ML-процесса для интерпретируемого прогнозирования оттока клиентов телеком-компании, интеграцией большой языковой модели для генерации рекомендаций по удержанию и внедрением практик CI/CD.

Практическая значимость работы заключается в создании готового к внедрению инструмента, который позволяет сократить время от обнаружения рискового клиента до реа-

лизации удерживающего воздействия и может служить основой для дальнейшего развития системы управления оттоком.

Описание исходных данных

Для проведения исследования использовались данные корпоративного хранилища гипотетической телеком-компании, включающие демографические характеристики, параметры потребления услуг, финансовое поведение, данные об устройствах и географическую информацию (рис. 1).

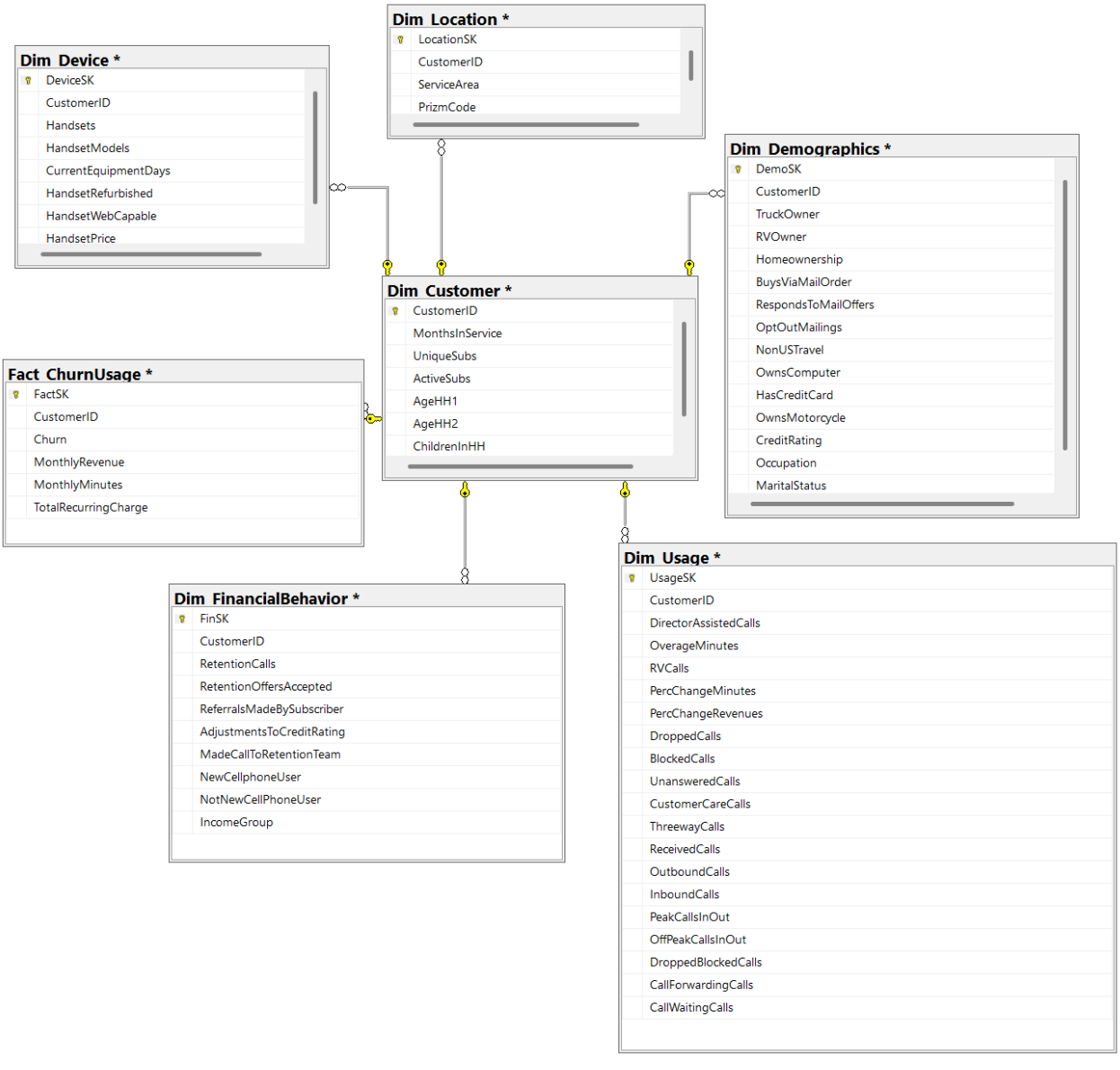


Рис. 1. ER-диаграмма базы данных

Все таблицы предоставляют в распоряжение 53 исходных признака, включая идентификатор клиента и целевую переменную, релевантные для решения нашей задачи.

Данные были извлечены из хранилища с помощью хранимой процедуры, результатом работы которой является таблица, представляющая собой датасет для всего последующего анализа и моделирования.

Разведочный анализ данных

Анализ статистик и визуализации гистограмм для всех числовых признаков позволил выявить, что подавляющее большинство признаков, особенно связанных с детализацией звон-

ков, имеют сильно скошенное (лог-нормальное) распределение с длинным правым «хвостом». Такая форма распределений указывает на то, что на этапе генерации новых признаков может быть крайне эффективным создание бинарных признаков.

Были применены два подхода для выявления выбросов: классический метод межквартильного размаха Тьюки (IQR) – для одномерного анализа – и Isolation Forest – для многомерного.

Ориентируясь на то, что метод IQR выявил порядка 10-20% экстремальных значений в ключевых признаках, для подбора гиперпараметра *contamination* алгоритма Isolation Forest были протестированы значения в диапазоне от 0.15 до 0.2. По результатам анализа было выбрано значение 0.15, которое позволило выделить 7657 записей в качестве аномалий.

Экстремальный поведенческий профиль не является прямым индикатором оттока. Чтобы повысить интерпретируемость модели все записи были сохранены и введены в датасет как новый признак *iso_outlier*. Это позволяет модели самостоятельно оценить вклад этого фактора в вероятность оттока.

Для обеспечения стабильности и надежности интерпретаций был проведен двухэтапный анализ, направленный на выявление и устранение избыточной коллинеарности с помощью корреляционного и VIF-анализа с итеративным исключением признаков до достижения порога VIF < 10. VIF измеряет, насколько дисперсия коэффициента регрессии для конкретного признака увеличивается из-за его линейной связи с другими предикторами в модели [5-6].

Генерация признаков

Опираясь на результаты EDA, был разработан набор производных признаков. Спроектированы 14 производных признаков, агрегирующих исходные показатели в четыре смысловые группы: вовлеченность клиента в голосовые сервисы и техническую стабильность соединений; ценность клиента, стабильность выручки и оптимальность тарифного плана; демографические данные для оценки размера семьи и уровня технологической грамотности; плотность технических проблем на единицу потребления и соотношение обращений в поддержку к числу реальных инцидентов.

Моделирование

На следующем этапе был обучен ряд baseline-моделей. В их число вошли представители трех разных семейств алгоритмов: Logistic Regression, Random Forest и MLP Classifier.

Все модели обучались и оценивались с помощью 5-фолдовой стратифицированной кросс-валидации. Итоговое сравнение проводилось на тестовой (holdout) выборке. Результаты данного этапа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки baseline-моделей Random Forest, Logistic Regression и MLP

Модель	CV ROC-AUC	CV PR-AUC	Test ROC-AUC	Test PR-AUC	Test F1	Test Recall	Test Precision
Random Forest	0.6603	0.4328	0.6577	0.4332	0.488	0.83	0.3456
Logistic Regression	0.6244	0.3885	0.6258	0.3908	0.4746	0.8351	0.3314
MLP	0.6171	0.387	0.6234	0.3915	0.472	0.7787	0.3386

Анализ полученных результатов позволяет сделать несколько ключевых выводов.

Во-первых, Random Forest продемонстрировал наилучшие результаты по всем ключевым метрикам, за исключением Recall (полноты), где он незначительно уступил логистической регрессии. Это свидетельствует о том, что искомые закономерности оттока носят преимущественно нелинейный характер.

Во-вторых, все модели показали относительно умеренные значения метрик. Такая проблема может быть следствием высокой степени классового перекрытия в пространстве признаков. Распределения признаков для лояльных и уходящих клиентов имеют значительную общую область, где одни и те же паттерны поведения характерны для объектов обоих классов. Другой причиной может быть информационная недостаточность исходных признаков, то есть отсутствие ключевых сигналов оттока [7].

Гипотеза о высокой степени классового перекрытия была подтверждена с помощью визуализации многомерного пространства методами t-SNE и UMAP (рис. 2).

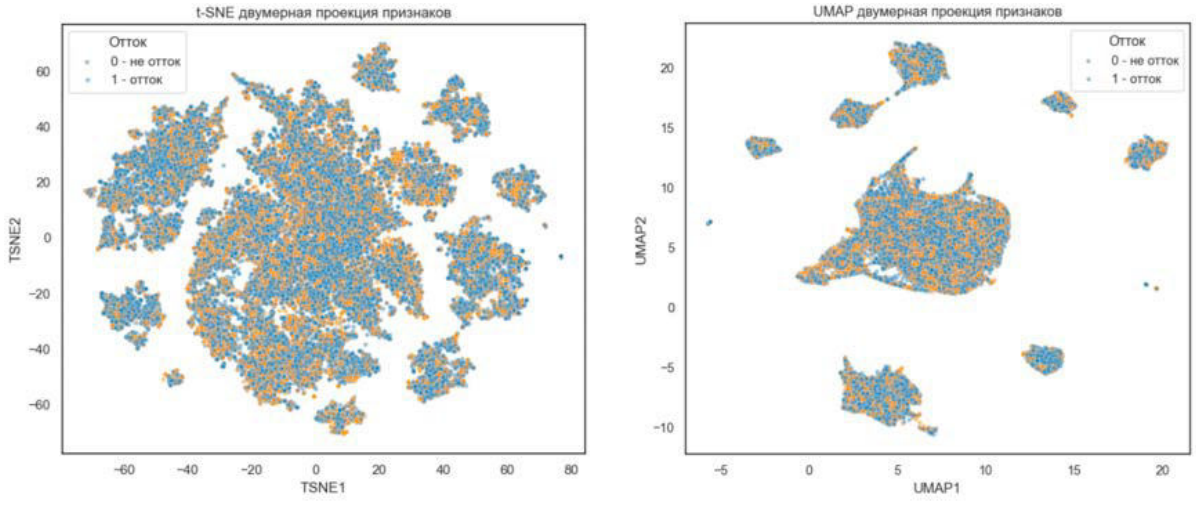


Рис. 2. Двумерная проекция признаков (UMAP и t-SNE)

Кроме того, был протестирован широкий набор методов ресемплинга, включая SMOTE, SMOTE Tomek, SMOTE ENN, NearMiss, TomekLinks и ADASYN.

Однако ни один из методов не привел к статистически значимому улучшению качества относительно baseline, а в ряде случаев наблюдалось даже ухудшение (табл. 2).

Таблица 2

Результаты работы baseline-моделей с различными методами ресемплинга (3 самые эффективные комбинации по метрике PR-AUC)

Ресемплер	Модель	CV AUC (mean)	CV PR (mean)	Test AUC	Test PR	Test F1 score	Test Recall	Test Precision
TomekLinks	RF	0.6592	0.4293	0.6549	0.4262	0.4802	0.6686	0.3746
TomekLinks	LR	0.6238	0.3878	0.6263	0.3909	0.4656	0.6669	0.3577
SMOTE_Tomek	LR	0.6206	0.3854	0.6238	0.3895	0.4531	0.966	0.2959

Дальнейшее улучшение может быть достигнуто за счет перехода к более мощным алгоритмам.

В качестве такого алгоритма был выбран CatBoostClassifier. Для достижения максимальной производительности была проведена настройка его гиперпараметров с помощью фреймворка Optuna, применяющего байесовскую оптимизацию с древовидным парзен-оценщиком (TPE). Optuna итеративно строит вероятностную модель целевой функции и выбирает комбинацию гиперпараметров, которая даст наибольшее улучшение [8].

Целевой метрикой при оптимизации была выбрана F1-score, вычисленная на кросс-валидации. Обученная с найденными гиперпараметрами финальная модель была оценена на тестовой выборке. Результаты оценки модели приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты работы CatBoost с подобранными гиперпараметрами

Precision	Recall	F1-score
0.383	0.739	0.5045

Сравнение этих результатов с результатами baseline-моделей показывает небольшой прирост по целевой метрике. Прирост дало не радикальное увеличение Recall в ущерб Precision, а более сбалансированное и точное ранжирование клиентов.

Рефакторинг и модульная архитектура

Кодовая база была реорганизована в модульную структуру, включающую пакеты для работы с данными, предобработки, генерации признаков, моделирования, интерпретации (SHAP, LIME, Shapash), взаимодействия с LLM, инференса и веб-интерфейса на Streamlit.

Для наглядного представления спроектированной системы на рис. 3 приведена архитектурная схема автоматизированного ML-пайплайна.

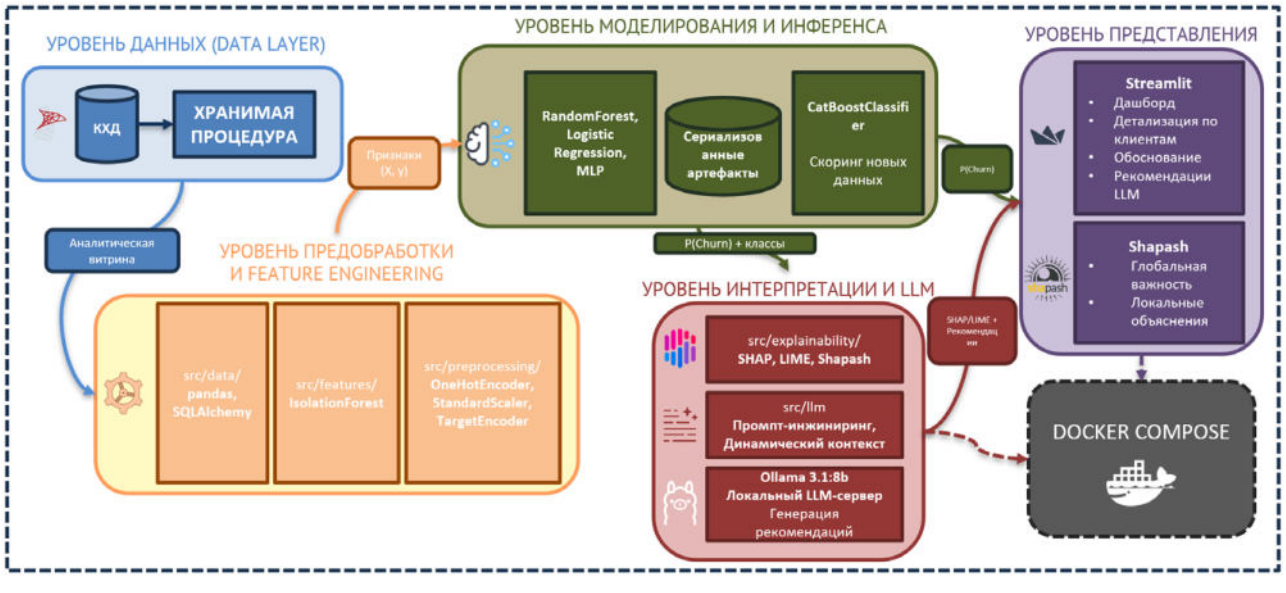


Рис. 3. Архитектурная схема автоматизированного ML-пайплайна

Все компоненты системы были упакованы в изолированное и воспроизводимое окружение через Docker. Непрерывная интеграция и доставка были настроены через GitHub Actions.

Интерпретация модели

Для глобальной и локальной интерпретации финальной модели были реализованы модули на основе SHAP и LIME.

SHAP основан на значениях Шепли из теории кооперативных игр и вычисляет аддитивный вклад каждого признака в предсказание, гарантируя теоретически обоснованное распределение влияния [9]. LIME строит локальную суррогатную модель вокруг конкретного наблюдения: возмущает признаки, анализирует отклик модели и выделяет несколько наиболее влиятельных факторов, не требуя доступа к внутренней структуре модели [10]. Если SHAP дает математически строгую, но сложную для неподготовленного пользователя картину, то LIME формирует интуитивно понятный короткий список причин.

Модуль shap_analysis.py вычисляет значения Шепли для всех признаков. Глобальная интерпретация – визуализация summary_plot – ранжирует признаки по силе и направлению влияния на прогноз.

Результаты анализа доставляются конечным пользователям через два взаимодополняющих интерфейса. Основной инструмент – Streamlit-приложение. Его архитектура построена на системе вкладок, каждая из которых реализует свой пользовательский сценарий.

Раздел «Дашборд»

Показывает сводную аналитику по загруженному датасету: общее число клиентов, текущий Churn Rate, доля клиентов с высоким риском, средняя прогнозируемая вероятность оттока и потенциальная выручка под риском. Также панель дополняют различные интерактивные графики (рис. 4).



Рис. 4. Раздел «Дашборд» – Ключевые показатели и интерактивные графики распределения вероятностей оттока, сегментации клиентов по уровню риска, выручки по сегментам риска оттока и риск оттока по стажу клиента

Раздел «Детализация по клиентам»

Реализует сценарий глубокого анализа отдельного клиента. Пользователь вводит ID клиента и получает персональную вероятность оттока, класс и категорию риска. Отчет включает полный профиль клиента из исходных данных (рис. 5). Для клиентов, отнесенных к классу оттока, активируется возможность получения рекомендаций по удержанию. Их генерирует LLM с учетом результатов LIME-интерпретаций.

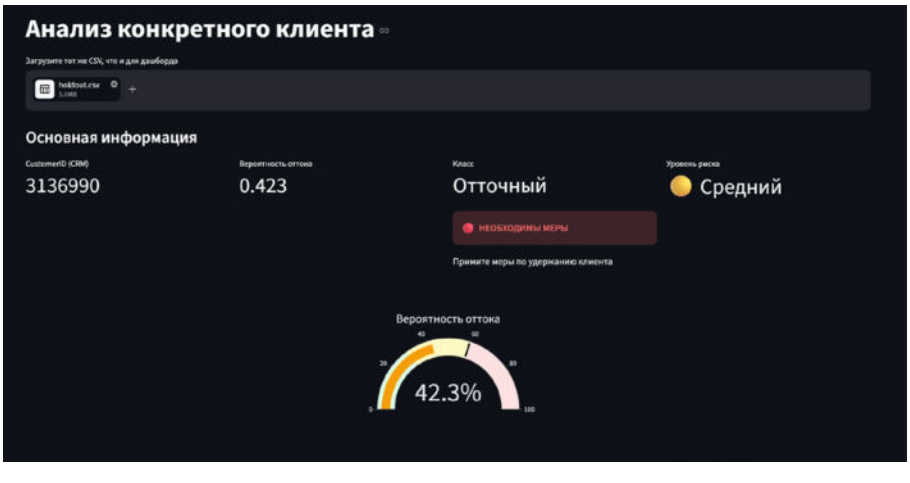


Рис. 5. Раздел «Детализация по клиентам» – Полный профиль клиента с уровнем и классом риска

Раздел «Обоснование»

Дает прямой доступ к инструментам объяснения. Для любого выбранного клиента можно сгенерировать SHAP dependence_plot или LIME-объяснение и увидеть причины такого прогноза (рис. 6).

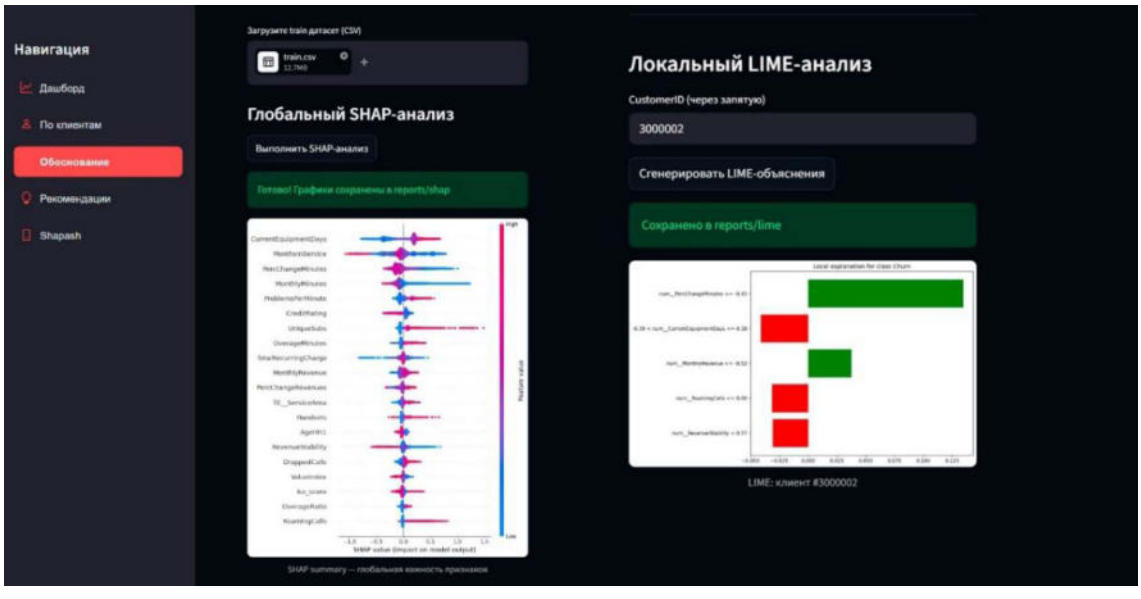


Рис. 6. Раздел «Обоснование» – Глобальный SHAP-анализ и локальный LIME-анализ

Раздел «Рекомендации по предоттоку (LLM)»

Предназначен для выработки стратегических рекомендаций. Есть возможность ввести порог для высокорисковых клиентов и увидеть их список. LLM анализирует агрегированные прогнозы модели по всему датасету и генерирует общие рекомендации по снижению оттока (рис. 7).

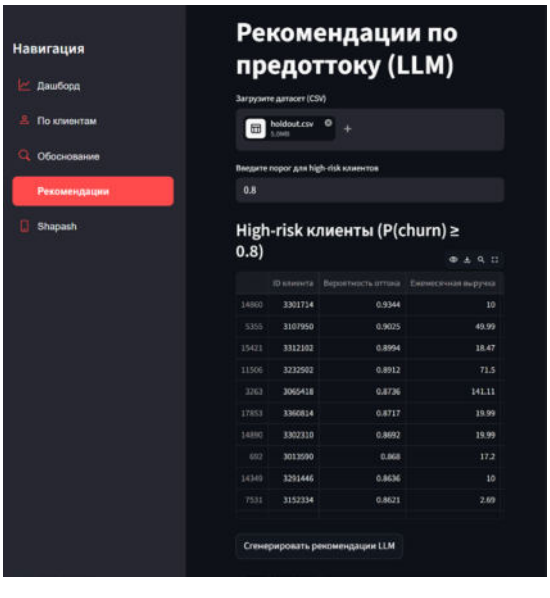


Рис. 7. Раздел «Рекомендации по предоттоку (LLM)»

Раздел «Shapash»

Предоставляет доступ к отдельному веб-приложению Shapash, запускаемое параллельно. Оно дает бизнес-пользователям удобный интерфейс для исследования глобальной важности признаков и анализа локальных объяснений (рис. 8).



Рис. 8. Раздел «Shapash» – Интерфейс веб-приложения Shapash

Интеграция LLM

Взаимодействие с языковой моделью Ollama 3.1 построено на промпт-инжиниринге без дообучения. Для каждого клиента с высоким риском оттока формируется промпт. В него входят: набор ключевых признаков, сильнее всего влияюших на прогноз по версии LIME, и текстовое описание LIME-объяснения для этого клиента, которое модель должна учесть.

Заключение

В данной работе решена задача создания автоматизированного ML-пайплайна для интерпретируемого прогнозирования оттока клиентов телеком-компании. Проведенное исследование показало, что комбинация современных методов машинного обучения и интерпретируемого искусственного интеллекта позволяет не просто предсказывать отток с высоким качеством, но и делать этот прогноз прозрачным для бизнес-пользователя.

Одним из ключевых компонентов системы стала интеграция большой языковой модели. Разработанный механизм динамического промпт-инжиниринга, обогащающий запрос результатами LIME-интерпретации, позволяет LLM генерировать не шаблонные, а контекстно-зависимые рекомендации, направленные на факторы, которые сильнее всего повышают риск оттока для конкретного клиента.

Модульная архитектура, юнит-тестирование, контейнеризация и настроенный CI/CD проекта обеспечивают воспроизводимость и готовность к промышленной эксплуатации.

Список литературы

1. Камалходжаева, Н. Исследование и анализ алгоритмов машинного обучения для прогнозирования оттока клиентов в телекоммуникационной компании [Электронный ресурс] / Н. Камалходжаева, А. Н. Шиков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №7 (121). – URL: https://research-journal.org/en/archive/7-121-2022-july/research-and-analysis-of-machine-learning-algorithms-for-predicting-customer-churn-in-a-telecommunications-company (дата обращения: 12.12.2025).

2. Barsotti, A. A Decade of Churn Prediction Techniques in the TelCo Domain: A Survey [Текст] / A. Barsotti, G. Gianini, C. Mio [et al.] // SN Computer Science. – 2024. – Vol. 5, №4. – P. 404. – DOI: 10.1007/s42979-024-02722-7.

3. Molnar, C. Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable [Электронный ресурс] / C. Molnar. – 3rd ed. – 2025. – ISBN: 978-3-911578-03-5. – URL: https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/ (дата обращения: 04.03.2026).

4. Kreuzberger, D. Machine Learning Operations (MLOps): Overview, Definition, and Architecture [Текст] / D. Kreuzberger, N. Kuhl, S. Hirschl // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 31866-31879.

5. Hastie, T. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction [Текст] / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. – 2nd ed. – New York : Springer, 2009. – 745 p. – ISBN: 978-0387848570.

6. Kuhn, M. Feature Engineering and Selection: A Practical Approach for Predictive Models [Текст] / M. Kuhn, K. Johnson. – Boca Raton : CRC Press, 2019. – 297 p.

7. He, H. Learning from Imbalanced Data [Текст] / H. He, E. A. Garcia // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2009. – Vol. 21, №9. – P. 1263-1284.

8. Akiba, T. Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework [Текст] / T. Akiba, S. Sano, T. Yanase, T. Ohta, M. Koyama // Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '19). – New York, NY, USA: ACM, 2019. – P. 2623-2631.

9. Shapley, L. S. A Value for n-Person Games [Текст] / L. S. Shapley // Contributions to the Theory of Games / ed. By H. W. Kuhn, A. W. Tucker. – Princeton: Princeton University Press, 1953. – Vol. 2. – P. 307-317.

10. Ribeiro, M. T. «Why Should I Trust You?» Explaining the Predictions of Any Classifier [Текст] / M. T. Ribeiro, S. Singh, C. Guestrin // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD). – San Francisco, CA, USA : ACM, 2016. – P. 1135-1144.

Список сокращений и условных обозначений

AUC – Area Under Curve (площадь под кривой)

CD – Continuous Delivery / Continuous Deployment (непрерывная доставка)

CI – Continuous Integration (непрерывная интеграция)

EDA – Exploratory Data Analysis (разведочный анализ данных)

IQR – Interquartile Range (межквартильный размах)

LIME – Local Interpretable Model-agnostic Explanations (локальные интерпретируемые модально-агностические объяснения)

LLM – Large Language Model (большая языковая модель)

ML – Machine Learning (машинное обучение)

MLOps – Machine Learning Operations (подход к автоматизации и управлению жизненным циклом моделей машинного обучения)

PR-AUC – Precision-Recall Area Under Curve (площадь под кривой точности-полноты)

ROC-AUC – Receiver Operation Characteristic – Area Under Curve (площадь под ROC-кривой)

SHAP – Shapley Additive exPlanations (аддитивные объяснения на основе значений Шепли)

SMOTE – Synthetic Minority Over-sampling Technique (синтетическая техника оверсемплинга миноритарного класса)

VIF – Variance Inflation Factor (коэффициент инфляции дисперсии)

XAI – Explainable Artificial Intelligence (объяснимый искусственный интеллект)

УДК 338.2

ОСОБЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗОНЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ И ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ РОССИИ: ТЕОРЕТИКО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ И ОПЫТ ОЭЗ «АЛАБУГА»

Савельчев И.А., студент магистратуры Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0002-8262-0811;
Email: ignatsavelchev@mail.ru

SPECIAL ECONOMIC ZONES AS AN INSTRUMENT OF RUSSIA'S TERRITORIAL DEVELOPMENT AND INVESTMENT POLICY: THEORETICAL AND LEGAL FOUNDATIONS AND EXPERIENCE OF THE ALABUGA SEZ

Savelchev I.A., Master's student at Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0002-8262-0811;
Email: ignatsavelchev@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются сущность, функции и условия функционирования особых экономических зон в Российской Федерации. Особое внимание уделено правовому режиму ОЭЗ, их роли в привлечении инвестиций, развитии промышленности, создании рабочих мест и формировании инфраструктуры территорий. На основе анализа российского опыта раскрыты основные типы ОЭЗ: промышленно-производственные, технико-внедренческие, туристско-рекреационные и портовые. Отдельно рассмотрен пример ОЭЗ промышленно-производственного типа «Алабуга», расположенной в Республике Татарстан. Показаны ее инфраструктурные преимущества, налоговые и таможенные преференции, значение для промышленного развития региона и инвестиционной привлекательности территории. Сделан вывод о том, что ОЭЗ выступают значимым инструментом государственной экономической политики, однако их эффективность зависит от качества правового регулирования, инфраструктурной обеспеченности, отраслевой специализации и способности привлекать долгосрочные инвестиционные проекты.

Ключевые слова: особая экономическая зона, свободная экономическая зона, ОЭЗ, инвестиции, налоговые льготы, таможенные преференции, промышленная политика, территориальное развитие, ОЭЗ «Алабуга», Республика Татарстан

Abstract

The article examines the essence, functions and conditions of functioning of special economic zones in the Russian Federation. Special attention is paid to the legal regime of SEZs, their role in attracting investments, developing industry, creating jobs and shaping the infrastructure of the territories. Based on the analysis of the Russian experience, the main types of SEZs are revealed: industrial and production, technical and innovative, tourist and recreational and port. An example of an industrial SEZ of the Alabuga type, located in the Republic of Tatarstan, is considered separately. Its infrastructural advantages, tax and customs preferences, importance for the industrial development of the region and the investment attractiveness of the territory are shown. It is concluded that SEZs are an important instrument of state economic policy, but their effectiveness depends on the quality of legal regulation, infrastructural security, industry specialization and the ability to attract long-term investment projects.

Keywords: special economic zone, free economic zone, SEZ, investments, tax benefits, customs preferences, industrial policy, territorial development, SEZ «Alabuga», Republic of Tatarstan

Введение

Особые экономические зоны (далее – ОЭЗ) занимают важное место в системе инструментов государственного регулирования экономики и территориального развития. Их создание связано с необходимостью формирования благоприятных условий для предпринимательской деятельности, привлечения инвестиций, развития промышленности, внедрения инноваций и повышения конкурентоспособности отдельных регионов. В условиях усиления межрегиональной конкуренции за инвестиционные ресурсы ОЭЗ позволяют концентрировать инфраструктуру, льготы и административное сопровождение на ограниченной территории, что делает ее более привлекательной для российских и иностранных инвесторов.

Согласно Федеральному закону от 22.07.2005 №116-ФЗ, особая экономическая зона – «это часть территории Российской Федерации, которая определяется Правительством Российской Федерации и на которой действует особый режим осуществления предпринимательской деятельности, а также может применяться таможенная процедура свободной таможенной зоны» [1]. Следовательно, сущность ОЭЗ раскрывается не только через территориальную обособленность, но и через наличие специального правового режима, предусматривающего иные условия хозяйствования по сравнению с общим порядком.

Создание особых экономических зон связано с решением задач экономического развития территории. Их функционирование направлено на привлечение инвестиций, расширение производственного потенциала, развитие инфраструктуры, создание новых рабочих мест и активизацию предпринимательской деятельности. Для резидентов ОЭЗ формируется система преимуществ, включающая снижение административных ограничений, налоговые и таможенные льготы, льготные условия пользования земельными участками, а также организационное сопровождение инвестиционных проектов со стороны государства и управляющей компании [2].

И.А. Квашнина отмечает: «В международной практике свободные экономические зоны используются как инструмент промышленной, инвестиционной, экспортной и инновационной политики. В развитых странах они часто выступают как логистические, инновационные или финансово-сервисные площадки. В развивающихся странах ОЭЗ чаще применяются для привлечения прямых иностранных инвестиций, модернизации промышленности, расширения занятости и включения национальной экономики в глобальные производственные цепочки» [3]. В странах с переходной экономикой ОЭЗ используются для развития высокотехнологичных отраслей, экономики услуг и повышения инвестиционной привлекательности территорий.

Проблема исследования состоит в противоречивости экономического эффекта особых экономических зон. С одной стороны, ОЭЗ создают благоприятные условия для бизнеса, позволяют привлекать инвестиции, развивать инфраструктуру, формировать новые рабочие места и стимулировать технологическое обновление [4]. С другой стороны, наличие налоговых и таможенных льгот само по себе не гарантирует устойчивого экономического результата. Эффективность ОЭЗ зависит от качества управления, отраслевой специализации, уровня инфраструктурной готовности, прозрачности правового режима, спроса на продукцию резидентов и способности территории встроиться в региональные и международные производственные связи. Локальные налоговые стимулы не всегда обеспечивают прямой и устойчивый экономический рост. Инвестиции могут носить ограниченный характер, а отдельные зоны способны превращаться в территории формального получения льгот без значительного вклада в развитие региона. Поэтому при оценке ОЭЗ важно учитывать не только наличие преференций, но

и реальные результаты: объем привлеченных инвестиций, количество резидентов, созданные рабочие места, выручку предприятий, налоговые поступления, уровень инфраструктурного развития и влияние на экономику региона.

Для России данная проблема имеет особое значение. С одной стороны, ОЭЗ рассматриваются как инструмент привлечения инвестиций и развития промышленности. С другой стороны, российская модель ОЭЗ характеризуется строгой типизацией, зависимостью от федерального и регионального регулирования, а также необходимостью согласования интересов государства, субъектов РФ, управляющих компаний и резидентов. Поэтому анализ сущности, функций и условий функционирования ОЭЗ целесообразно дополнить рассмотрением конкретного примера – ОЭЗ «Алабуга», которая является одной из наиболее известных и развитых промышленных зон России.

Цель исследования состоит в раскрытии сущности, значения и функций особых экономических зон как инструмента государственной инвестиционной и территориальной политики, а также в анализе условий функционирования ОЭЗ на примере ОЭЗ промышленно-производственного типа «Алабуга».

Результаты исследования. Особая экономическая зона представляет собой территорию со специальным правовым режимом предпринимательской деятельности. Ее экономическая сущность состоит в создании более благоприятных условий для ведения бизнеса по сравнению с обычным режимом хозяйствования [5]. Такие условия включают налоговые льготы, таможенные преференции, снижение административных барьеров, доступ к подготовленной инфраструктуре и государственное сопровождение инвестиционного проекта.

Ключевые функции ОЭЗ можно представить в табл. 1.

Таблица 1

Основные функции особых экономических зон

Функция ОЭЗ	Содержание функции	Экономическое значение
Привлечение инвестиций	Создание льготного режима для российских и иностранных инвесторов	Увеличение капитальных вложений, запуск новых производств
Развитие внешней торговли	Применение таможенных преференций и процедуры свободной таможенной зоны	Рост экспортного потенциала, снижение издержек внешнеторговых операций
Технологическое развитие	Размещение инновационных, промышленных и научно-технических проектов	Повышение конкурентоспособности экономики
Создание рабочих мест	Формирование новых предприятий и производств	Рост занятости и доходов населения
Развитие инфраструктуры	Строительство инженерных, транспортных, производственных и таможенных объектов	Повышение инвестиционной привлекательности территории
Региональное развитие	Концентрация экономической активности в конкретном регионе	Ускорение социально-экономического развития субъекта РФ

В Российской Федерации предусмотрены четыре основных типа особых экономических зон: промышленно-производственные, технико-внедренческие, туристско-рекреационные и портовые. Каждый тип имеет собственную функциональную направленность (табл. 2).

Согласно имеющимся статистическим данным, в Российской Федерации сформирована разветвлённая система особых экономических зон, включающая 61 территорию с дифференциацией по функциональному профилю: промышленно-производственные, технико-внедренческие, туристско-рекреационные и портовые ОЭЗ.

За период функционирования ОЭЗ:

– зарегистрировано свыше 1,4 тыс. резидентов, включая более 100 компаний с иностранным капиталом из 34 стран;

– заявленные инвестиции составили 6,6 трлн руб., фактически освоенные – более 3,8 трлн руб.;

– создано свыше 137 тыс. рабочих мест, а объем обязательных платежей достиг около 696 млрд руб. [6].

Таблица 2

Виды ОЭЗ в Российской Федерации

Вид ОЭЗ	Основное назначение
Промышленно-производственные	Производство, переработка, выпуск и реализация товаров
Технико-внедренческие	Разработка и коммерциализация научно-технической продукции
Туристско-рекреационные	Развитие туризма, отдыха и рекреационных услуг
Портовые	Логистика, судостроение, судоремонт, транспортные услуги

Промышленно-производственные особые экономические зоны ориентированы на локализацию производственных и перерабатывающих мощностей. Для данного типа зон установлен специальный режим территориальной организации: предельная площадь не должна превышать 40 кв. км, а размещение объектов жилого фонда в их границах не допускается.



Рис. 1. ОЭЗ промышленно-производственного типа в РФ [6]

Технико-внедренческие ОЭЗ предназначены для концентрации инновационной активности, коммерциализации результатов научно-технической деятельности и разработки высокотехнологичной продукции, включая программное обеспечение и информационные системы [6]. Туристско-рекреационные ОЭЗ ориентированы на развитие туристско-сервисной специализации территорий и формирование инфраструктуры рекреационного назначения.

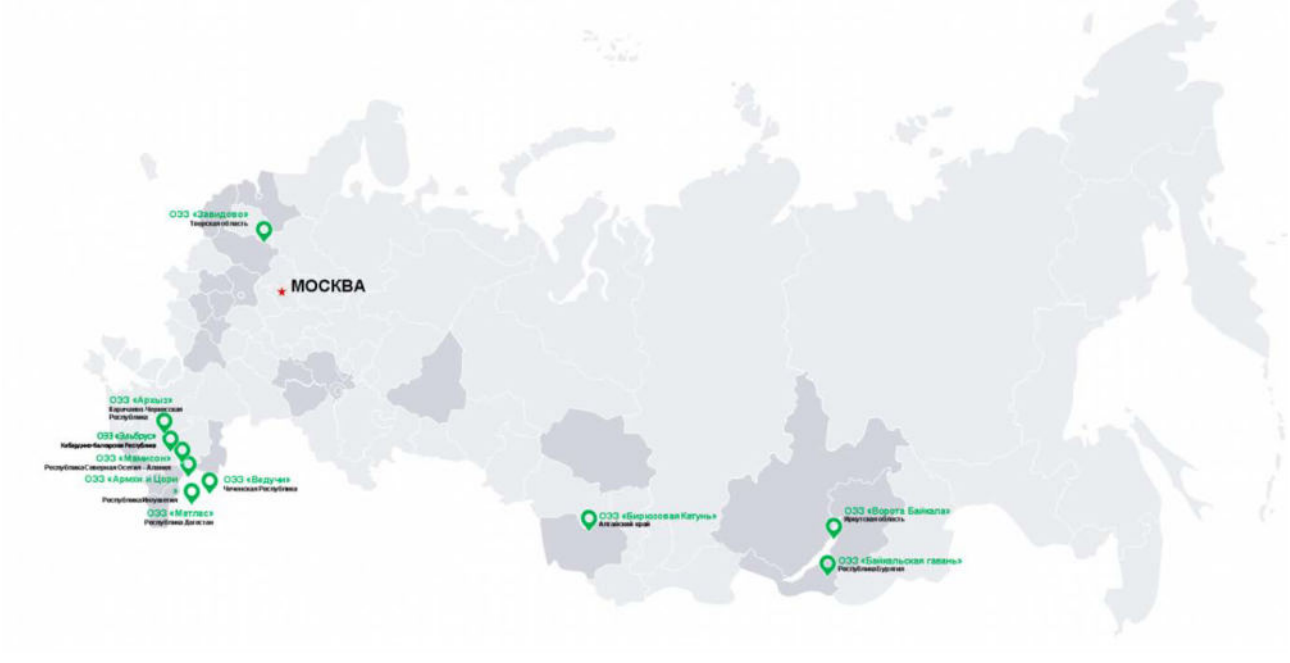


Рис. 2. ОЭЗ туристско-рекреационного типа в РФ [6]

Портовые ОЭЗ выполняют функцию развития транспортно-логистической инфраструктуры, судостроительного и судоремонтного комплекса, а также обслуживания грузопотоков и формирования новых маршрутов перевозки.

Качественные пока функционирования ОЭЗ по типам в РФ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Количественные показатели функционирования ОЭЗ по типам в РФ по состоянию на 03.07.2025 г. [6]

Тип особой экономической зоны	Количество резидентов, ед.	Создано рабочих мест, ед.	Объем инвестиций, млрд руб.	Объем выручки, млрд руб.	Налоговые, таможенные и иные обязательные отчисления, млрд руб.
Промышленно-производственные ОЭЗ	558	более 56 000	1 600,0	около 2 300,0	296,6
Технико-внедренческие ОЭЗ	572	более 50 000	свыше 764,0	1 800,0	350,9
Туристско-рекреационные ОЭЗ	170	2 278	64,1	12,9	2,8
Портовые ОЭЗ	61	1 577	24,5	свыше 35,0	3,5

Условия работы резидентов ОЭЗ включают несколько ключевых преимуществ. Наиболее важными являются налоговые льготы, таможенные преференции, низкие административные барьеры, доступ к земельным участкам и инфраструктуре, льготная аренда, возможность выкупа земли, а также сопровождение инвестиционного проекта.

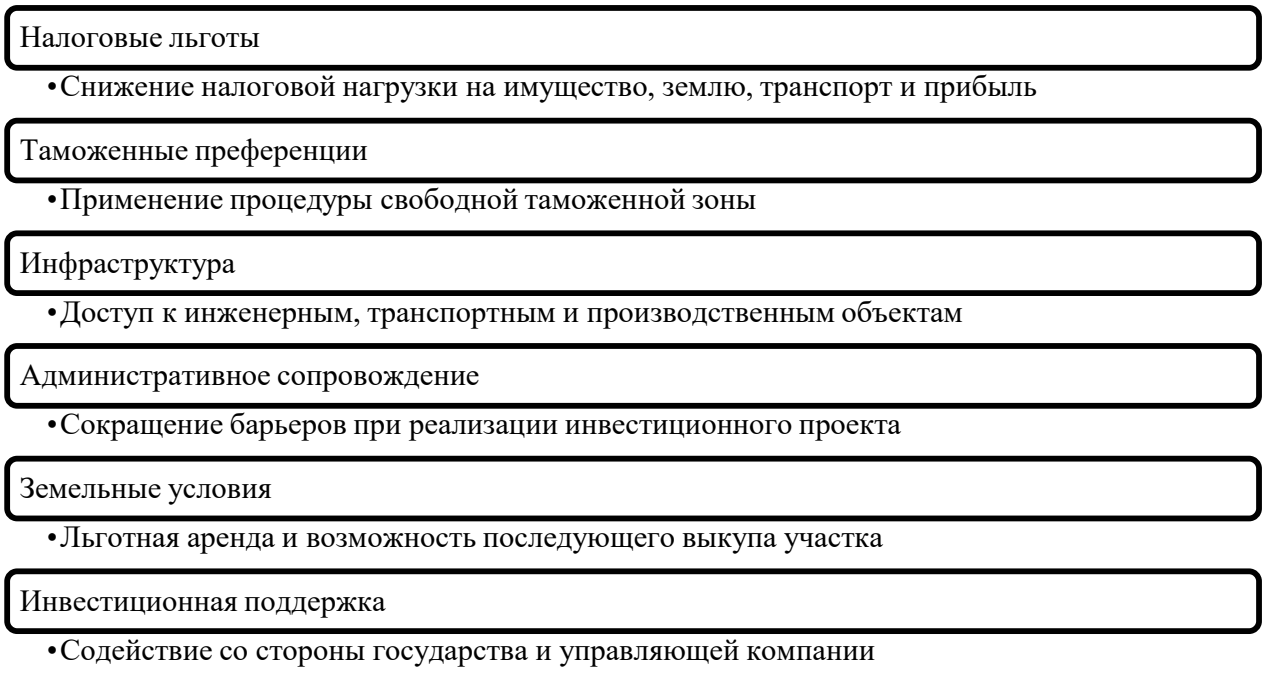


Рис. 3. Ключевые преимущества ОЭЗ для резидентов

Государственное регулирование особых экономических зон в Российской Федерации осуществляется в рамках Федерального закона № 116-ФЗ, который определяет правовые основы создания, функционирования и прекращения деятельности ОЭЗ, а также устанавливает статус их резидентов и особенности управления такими территориями [1]. Уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в данной сфере выступает Министерство экономического развития Российской Федерации. При этом отдельные управленческие полномочия могут передаваться органам исполнительной власти субъектов РФ либо управляющим компаниям, что обеспечивает сочетание федерального контроля и регионального участия в развитии конкретных зон [1].

Система управления ОЭЗ предполагает возможность создания наблюдательного совета, выполняющего координационные функции и обеспечивающего согласование интересов государства, региона, управляющей компании и резидентов. Такой механизм позволяет повысить управляемость территории, обеспечить контроль за использованием инфраструктуры и реализацией инвестиционных проектов. Статус резидента ОЭЗ предоставляется коммерческой организации, зарегистрированной в установленном порядке и заключившей соглашение об осуществлении деятельности на территории зоны. Нарушение условий такого соглашения либо требований законодательства является основанием для утраты статуса резидента [1].

Соглашение об осуществлении деятельности в ОЭЗ заключается на ограниченный срок, который не может превышать 49 лет. Законодательство также устанавливает ряд специальных ограничений для резидентов: они не вправе создавать филиалы и представительства за пределами территории ОЭЗ, а также передавать свои права и обязанности по соглашению третьим лицам. Данные нормы направлены на обеспечение целевого характера деятельности резидентов и концентрацию экономического эффекта внутри соответствующей территории [1].

Важным элементом правового режима ОЭЗ является порядок предоставления земельных участков. Как правило, они передаются резидентам на условиях аренды, при этом может предусматриваться возможность последующего выкупа участка. Дополнительное значение имеют гарантии от неблагоприятного изменения налогового законодательства, поскольку они повышают стабильность условий ведения бизнеса и снижают инвестиционные риски для резидентов [1].

Практическая значимость механизма ОЭЗ проявляется на примере особой экономической зоны промышленно-производственного типа «Алабуга». Она была создана в 2006 г. в Елабужском муниципальном районе Республики Татарстан и расположена на расстоянии 210 км от Казани и 1048 км от Москвы. Первоначальная площадь территории составляла 20 кв. км, что создавало условия для размещения порядка 60 компаний-резидентов. В 2012 г. было принято решение об увеличении площади ОЭЗ «Алабуга» в два раза, что отражало рост инвестиционной привлекательности территории и потребность в расширении производственных площадок [7].

ОЭЗ «Алабуга» отличается высоким уровнем инфраструктурной обеспеченности, включающей инженерные, транспортные, производственные и таможенные элементы. Уже на начальном этапе развития, в 2006–2007 гг., были сформированы ключевые объекты базовой инфраструктуры, необходимые для размещения промышленных предприятий и обеспечения деятельности резидентов. Основные элементы инфраструктурного комплекса ОЭЗ «Алабуга» представлены в табл. 4.

Таблица 4

Основные элементы инфраструктуры ОЭЗ «Алабуга»

Элемент инфраструктуры	Содержание
Транспортная инфраструктура	Автомобильные дороги, железнодорожная ветка, терминал, КПП
Инженерная инфраструктура	Электро-, газо-, тепло-, водоснабжение, канализация, дренаж
Таможенная инфраструктура	Таможенный пост для резидентов, электронное декларирование, оформление за 3 часа
Производственные площади	Индустриальные парки и готовые производственно-складские помещения
Цифровая инфраструктура	IP-телефония, высокоскоростной интернет
Административная инфраструктура	Административно-деловой центр и сопровождение проектов

На территории ОЭЗ «Алабуга» создан фонд готовых индустриальных площадей, обеспечивающий возможность ускоренного размещения новых производств и сокращения сроков запуска инвестиционных проектов. Одним из значимых объектов выступает индустриальный парк «А Плюс Парк Алабуга», размещённый на участке площадью 36 га. Его инфраструктура включает 186 тыс. м² производственно-складских помещений, 14 тыс. м² административно-бытовых объектов и четыре корпуса. Совокупная площадь комплекса составляет 200 тыс. м² [7]. Наряду с ним в структуре ОЭЗ функционируют индустриальные парки «Синергия» и «Синергия 2», предоставляющие резидентам соответственно 24,5 тыс. м² и 75,9 тыс. м² арендных помещений [7]. Данные объекты дополняют базовую инфраструктуру зоны и повышают её привлекательность для компаний, заинтересованных в быстром начале производственной деятельности.

Важным инфраструктурным преимуществом ОЭЗ «Алабуга» является развитая таможенная система. На территории зоны действует специализированный таможенный пост, обслуживающий резидентов данной ОЭЗ. Высокий уровень цифровизации таможенных процедур выражается в том, что доля электронного декларирования достигает 99%, а средний срок таможенного оформления составляет около 3 часов [7]. Кроме того, резиденты могут применять процедуру свободной таможенной зоны, которая позволяет использовать иностранные товары без уплаты таможенных пошлин и налогов при соблюдении установленных законодательством условий [1]. Это снижает издержки предприятий, использующих импортное оборудование, сырьё и комплектующие, и повышает конкурентоспособность производственных проектов.

Дополнительным фактором инвестиционной привлекательности ОЭЗ «Алабуга» выступает её выгодное географическое положение. В радиусе 1000 км от территории зоны находятся 10 из 16 крупнейших городов России, что расширяет возможности сбыта продукции резидентов и упрощает доступ к крупным потребительским и промышленным рынкам [7]. Такое расположение способствует снижению логистических затрат, ускорению поставок и формированию устойчивых производственно-сбытовых связей.



Рис. 4. Месторасположение ОЭЗ «Алабуга» [7]

Для резидентов ОЭЗ «Алабуга» действует преференциальный налоговый и таможенный режим, направленный на снижение первоначальной финансовой нагрузки и повышение инвестиционной привлекательности территории. В течение первых десяти лет резиденты освобождаются от уплаты транспортного налога, налога на имущество организаций и земельного налога [7]. Такая система льгот особенно значима для промышленных проектов, поскольку на начальном этапе их реализации основная часть затрат связана с приобретением оборудования, строительством производственных объектов и формированием инфраструктуры.

Особый порядок установлен и в отношении налога на прибыль организаций. Его уплата начинается с момента получения резидентом первой прибыли, что позволяет учитывать инвестиционный цикл промышленного проекта и снижает давление на предприятие в период

запуска производства. По региональной части налога на прибыль применяется пониженная ставка: в первые пять лет она составляет 0%, в последующие пять лет – 5%, а после завершения десятилетнего льготного периода – 13,5% [7]. Следовательно, налоговый режим ОЭЗ «Алабуга» создает для резидентов более благоприятные условия по сравнению с общим режимом налогообложения и способствует ускорению окупаемости инвестиционных проектов.

Таблица 5

Налоговые и таможенные преимущества ОЭЗ «Алабуга» [7]

Вид преимущества	Условия
Налог на имущество	Освобождение на 10 лет
Транспортный налог	Освобождение на 10 лет
Земельный налог	Освобождение на территории ОЭЗ
Налог на прибыль	Льготный порядок уплаты с момента получения первой прибыли
Таможенные платежи	Возможность применения процедуры свободной таможенной зоны
Таможенное оформление	Электронное декларирование и ускоренная процедура оформления

Таким образом, ОЭЗ «Алабуга» предоставляет инвесторам комплекс преимуществ: подготовленную промышленную территорию, инженерную инфраструктуру, логистический доступ, налоговые льготы, таможенный режим, готовые производственные площади и административное сопровождение.

Дискуссия и обсуждение

ОЭЗ являются важным инструментом развития экономики, однако их результативность зависит от сочетания нескольких факторов. Первый фактор – правовая определенность. Для инвестора важно, чтобы условия ведения бизнеса были стабильными, а правила получения льгот, аренды земли, применения таможенной процедуры и сохранения статуса резидента были понятными и предсказуемыми.

Второй фактор – инфраструктурная готовность территории. Налоговые льготы сами по себе не обеспечивают инвестиционную привлекательность, если на территории отсутствуют дороги, инженерные сети, производственные площади, таможенная инфраструктура и административное сопровождение. В этом отношении опыт ОЭЗ «Алабуга» показывает, что конкурентоспособность зоны формируется не только через льготы, но и через готовую среду для запуска производства.

Третий фактор – отраслевая специализация. Промышленно-производственные зоны эффективны тогда, когда они ориентированы на реальные потребности промышленности, логистики и рынка сбыта. Технико-внедренческие зоны требуют развитой научной базы, кадрового потенциала и связи с университетами и исследовательскими центрами. Туристско-рекреационные зоны зависят от природного, культурного и сервисного потенциала территории. Портовые ОЭЗ требуют транспортной связанности и включенности в грузовые потоки.

Четвертый фактор – качество управления. Управляющая компания и органы государственной власти должны не только предоставлять льготы, но и сопровождать проект на всех этапах: от выбора земельного участка до запуска производства, подключения к сетям, таможенного оформления и дальнейшего развития бизнеса. Поэтому ОЭЗ следует рассматривать как институциональную платформу, объединяющую государство, инвесторов, региональные власти и инфраструктурные организации.

В российской практике сохраняется проблема строгой типизации ОЭЗ. С одной стороны, она упорядочивает правовой режим и позволяет определить специализацию каждой зоны. С другой стороны, чрезмерная жесткость может ограничивать межотраслевые проекты и снижать гибкость развития территории. Для современных инвестиционных проектов характерно сочетание промышленности, логистики, цифровых технологий, инжиниринга, сервисов и НИОКР. Поэтому развитие ОЭЗ требует более гибкого подхода к видам деятельности резидентов и возможностям комбинирования различных направлений.

ОЭЗ «Алабуга» демонстрирует, что успешная зона должна иметь не только формальный льготный режим, но и развитую инфраструктуру, понятные условия для инвесторов, логистические преимущества и поддержку со стороны региона. Ее расположение в Татарстане, доступ к крупным рынкам, наличие индустриальных парков и развитой таможенной инфраструктуры делают ее одним из наиболее показательных примеров промышленной ОЭЗ в России.

Выводы

Особые экономические зоны представляют собой специальный правовой и экономический механизм, направленный на развитие предпринимательской деятельности, привлечение инвестиций, модернизацию промышленности и повышение конкурентоспособности территорий. Их сущность состоит в создании на ограниченной территории особого режима ведения бизнеса, включающего налоговые льготы, таможенные преференции, инфраструктурную поддержку и административное сопровождение.

Функции ОЭЗ охватывают привлечение инвестиций, развитие внешней торговли, стимулирование инноваций, создание рабочих мест, развитие инфраструктуры и поддержку региональной экономики. В России действуют четыре основных типа ОЭЗ: промышленно-производственные, технико-внедренческие, туристско-рекреационные и портовые. Каждый из них имеет собственное назначение и используется для решения определенных задач государственной экономической политики.

Государственное регулирование ОЭЗ в России основано на Федеральном законе № 116-ФЗ. Управление системой ОЭЗ осуществляется при участии Министерства экономического развития РФ, региональных органов власти, управляющих компаний и наблюдательных советов. Статус резидента предполагает заключение соглашения об осуществлении деятельности, выполнение требований законодательства и реализацию инвестиционного проекта в пределах установленной территории.

ОЭЗ «Алабуга» является примером эффективной промышленно-производственной зоны, в которой сочетаются выгодное географическое положение, развитая инженерная и транспортная инфраструктура, таможенные преимущества, индустриальные парки, налоговые льготы и административная поддержка. Ее опыт показывает, что результативность ОЭЗ определяется не только наличием преференций, но и качеством инфраструктуры, управлением, отраслевой специализацией и реальной заинтересованностью инвесторов.

В целом ОЭЗ можно рассматривать как перспективный инструмент развития регионов и отраслей экономики. При этом для повышения их эффективности необходимо совершенствовать законодательную базу, расширять гибкость правового режима, обеспечивать прозрачность условий для резидентов, развивать инфраструктуру и ориентировать деятельность зон на долгосрочные инвестиционные проекты с высоким производственным, технологическим и социально-экономическим эффектом.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об особых экономических зонах в Российской Федерации» от 22.07.2005 г. №116-ФЗ (ред. 18.07.2017) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.pravo.gov.ru (дата обращения: 10.05.2026).

2. Рыбаков, С. А. Особая экономическая зона и свободная экономическая зона: единство или различие / С. А. Рыбаков // Юридическая наука и практика. – 2023. – № 3. – С. 63-66.

3. Квашнина, И. А. Особые экономические зоны как инструмент привлечения иностранных инвестиций / И. А. Квашнина // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2021. – №3. – С.121-132.

4. Насиров, Д. Ф. Роль и значение свободных экономических зон / Д. Ф. Насиров, С. Канатбаев // JMBM. – 2024. – №7. – С. 3-22.

5. Петрова, Т. А. Особые экономические зоны (свободные экономические зоны) / Т. А. Петрова, В. А. Карданов. – Москва : ООО «Директ-Медиа», 2023. – 192 с.

6. Министерство экономического развития РФ. Особые экономические зоны [Электронный ресурс] – URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/instrumenty_razvitiya_territoriy/osobye_ekonomicheskie_zony/ (дата обращения: 10.05.2026).

7. Официальный сайт ОЭЗ «Алабуга» [Электронный ресурс]. – URL: https://alabuga.ru/ (дата обращения: 10.05.2026).

УДК 004.9:658.562

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА «КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА» И УЧЕТА НЕСООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ПРОДУКЦИИ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ «1С:ПРЕДПРИЯТИЕ 8.3»

Сагитова Ю.Р., магистрант кафедры прикладной информатики;
ORCID: 0009-0007-7537-5930;
E-mail: s.ylia30@mail.ru;
Егоров А.С., магистрант кафедры прикладной информатики;
ORCID: 0009-0007-2938-7797;
E-mail: wolfmouth2013@gmail.com;
Ишмурадова И.И., доцент, к.н., заведующий кафедрой, Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны, Россия;
ORCID: 0000-0001-6307-8292;
E-mail: izida-89@mail.ru

THE AUTOMATION PROCESS OF THE “QUALITY CONTROL” BUSINESS PROCESS AND ACCOUNTING OF NON-CONFORMING PRODUCTS BASED ON THE “1C:ENTERPRISE 8.3” PLATFORM

Sagitova Ju.R., Master student of the Department of Applied Informatics;
ORCID: 0009-0007-7537-5930;
E-mail: s.ylia30@mail.ru;
Egorov A.S., Master student of the Department of Applied Informatics;
ORCID: 0009-0007-2938-7797;
E-mail: wolfmouth2013@gmail.com;
Ishmuradova I.I., Associate Professor, Ph.D., Head of the Department at Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia;
ORCID: 0000-0001-6307-8292;
E-mail: izida-89@mail.ru

Аннотация

Учет и управление несоответствующей продукцией являются критически важными компонентами успешного функционирования современного производственного предприятия.

В данной статье рассматривается проблема оптимизации бизнес-процесса «Контроль качества» на примере действующего предприятия целлюлозно-бумажной промышленности ЗАОр «НП НЧ КБК им. С.П. Титова». Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности выявления, учета и анализа бракованного сырья в условиях высокой конкуренции. Целью работы является совершенствование процесса контроля качества средствами автоматизации на базе программной платформы «1С:Предприятие 8.3». В ходе исследования проведен детальный анализ существующей бизнес-модели (AS-IS) с использованием методологий IDEF0, IDEF3, DFD и ARIS. Выявлены ключевые недостатки текущей системы: значительная доля ручного ввода данных, риск дублирования информации, ограниченные возможности отслеживания складских ячеек и отсутствие автоматической маршрутизации задач. Для решения этих проблем спроектирована модель TO-BE и разработан специализированный программный модуль. Разработанное ИТ-решение включает алгоритмы автоматизированного распределения бракованного сырья по ячейкам склада, систему блокировки проведения документов при некорректном вводе данных, а также комплекс аналитических отчетов. Особое внимание в архитектуре модуля уделено интеграции складского учета с коммерческими операциями предприятия. Грамотная маршрутизация спецификаций продаж, клиентских заказов и контрактов в единой среде «1С» позволяет оперативно реагировать на выявленный брак, блокируя дефектное сырье для производственных заказов и минимизируя коммерческие риски. Оценка экономической эффективности показала высокую рентабельность проекта: чистая текущая стоимость (NPV) составила 23 220,59 рублей, внутренняя норма доходности (IRR) – 61,91%, а дисконтированный срок окупаемости инвестиций – 9,62 месяца. Результаты подтверждают целесообразность полномасштабного внедрения разработанного модуля.

Ключевые слова: контроль качества, несоответствующая продукция, автоматизация, 1С:Предприятие, бизнес-процесс, коммерческие операции, экономическая эффективность

Abstract

Accounting and management of non-conforming products are critically important components for the successful operation of a modern manufacturing enterprise. This article addresses the problem of optimizing the “Quality Control” business process using the example of an existing pulp and paper industry enterprise, CJSC "NP NCh KBK named after S.P. Titov". The relevance of the research is driven by the need to improve the efficiency of identifying, accounting for, and analyzing defective raw materials in a highly competitive environment. The aim of the work is to improve the quality control process using automation tools based on the “1C:Enterprise 8.3” software platform. During the study, a detailed analysis of the existing business model (AS-IS) was conducted using IDEF0, IDEF3, DFD, and ARIS methodologies. Key shortcomings of the current system were identified: a significant share of manual data entry, the risk of information duplication, limited capabilities for tracking warehouse cells, and the lack of automatic task routing. To solve these problems, a TO-BE model was designed, and a specialized software module was developed. The developed IT solution includes algorithms for the automated distribution of defective raw materials across warehouse cells, a system for blocking document posting in case of incorrect data entry, and a set of analytical reports. Special attention in the module's architecture is paid to integrating warehouse accounting with the enterprise's commercial operations. Competent routing of sales specifications, customer orders, and contracts in a unified “1C” environment allows for a prompt response to identified defects, blocking defective raw materials for production orders and minimizing commercial risks. The economic efficiency assessment showed high project profitability: the net present value (NPV) amounted to 23,220.59 rubles, the internal rate of return (IRR) was 61.91%, and the discounted payback period of investments was 9.62 months. The results confirm the feasibility of full-scale implementation of the developed module.

Keywords: quality control, non-conforming products, automation, 1C:Enterprise, business process, commercial operations, economic efficiency

1. Введение

В современных экономических условиях производственные предприятия вынуждены непрерывно работать над улучшением качества выпускаемой продукции, оптимизацией внутренних издержек и более эффективным управлением материальными ресурсами [1]. Учет и управление несоответствующей продукцией становятся ключевыми элементами оптимизации деятельности, так как от правильной и своевременной обработки брака зависит как общая операционная эффективность предприятия, так и его финансовая устойчивость и деловая репутация перед контрагентами [3].

Объектом исследования в рамках данной статьи выступает бизнес-процесс «Контроль качества» на примере крупного предприятия целлюлозно-бумажной промышленности – ЗАОр «Народное предприятие Набережночелнинский картонно-бумажный комбинат им. С.П. Титова». Основным направлением деятельности комбината является производство картона, гофрированной бумаги и разнообразной упаковочной продукции. Производственный цикл предприятия характеризуется высокими объемами переработки сырья и строгими требованиями к техническим характеристикам готовых изделий.

Детальный анализ текущего состояния бизнес-процессов на предприятии выявил ряд существенных недостатков в существующих алгоритмах управления несоответствующей продукцией. В частности, наблюдаются задержки в передаче информации между производственными цехами, отделом качества и техническим складом, ограниченные возможности поиска по статусу бракованного сырья, отсутствие автоматической маршрутизации задач на ответственных сотрудников и высокий риск ошибок из-за дублирования данных при ручном вводе в электронные и бумажные журналы. Кроме того, серьезной проблемой является отсутствие программного контроля за состоянием ячеек на складе ответственного хранения, что приводит к логистическим сбоям и нерациональному использованию складских площадей.

Особое значение при реинжиниринге данных процессов имеет обеспечение взаимосвязи между производственным контуром и коммерческими операциями [4]. Отсутствие оперативной синхронизации данных о дефектах сырья ведет к рискам срыва сроков выполнения клиентских заказов, искажению спецификаций продаж и осложнению взаиморасчетов по контрактам. Введение автоматизированного учета на базе платформы «1С:Предприятие 8.3» призвано устранить возникшие барьеры, повысить прозрачность движения ресурсов и создать единое информационное пространство для всех подразделений [2]. Целью работы является совершенствование бизнес-процесса «Контроль качества» путем проектирования и внедрения специализированного модуля в среде «1С:Предприятие 8.3».

2. Методика исследования

Для достижения поставленной цели был использован комплексный подход, сочетающий методы системного анализа, декомпозиции бизнес-процессов, объектно-ориентированного проектирования и финансово-инвестиционного анализа [5]. Исследование проводилось с опорой на функциональные возможности корпоративной платформы «1С:Предприятие 8.3».

Методологическая база исследования включает следующие взаимосвязанные этапы:

Анализ и формализация текущего состояния (модель «AS-IS»): Проведен аудит существующих информационных потоков в цепочке контроля качества сырья и готовой продукции. Моделирование процессов выполнялось в среде AllFusion Process Modeler с использованием стандартов IDEF0, IDEF3 и DFD, а также нотации событийно-управляемого цепочечного процесса (EPC) инструментария ARIS [3]. Это позволило визуализировать узкие места, информационные задержки и дублирование функций.

Проектирование целевого состояния (модель «TO-BE»): На основе выявления узких мест разработана реорганизованная схема выполнения операций, предусматривающая устранение промежуточного ручного ввода, автоматизацию проверки складских ячеек и сквозную маршрутизацию документов.

Разработка информационной структуры и программного модуля: Выполнено физическое проектирование базы данных 1С, включающее создание специализированных справочников («Ячейки склада», «Номенклатура», «Поставщики»), документов («Принятие на ответственное хранение», «Акт о браке», «Снятие с ответственного хранения») и программных алгоритмов контроля событий (`ПередЗаписью`, `ПриЗаписи`) [2, 6].

Оценка экономической и коммерческой эффективности: Использование стандартных методик инвестиционного анализа (расчет показателей NPV, IRR, DPP, NCF) для оценки окупаемости затрат на разработку и внедрение модуля [1].

3. Основная часть: анализ и результаты

3.1. Декомпозиция традиционных процессов управления качеством (модель «AS-IS»)

В рамках проведенного аудита на ЗАОр «НП НЧ КБК им. С.П. Титова» была построена и проанализирована контекстная диаграмма А0 процесса «Контроль качества», декомпозированная на ключевые подпроцессы: «Завершенное производство» (А1) и «Управление несоответствующей продукцией» (А2).

Анализ DFD-диаграмм показал, что существующие информационные потоки характеризуются высокой степенью фрагментации. При выявления дефекта рулона технологической бумаги или картона машинист гофроагрегата и контролер ОТК заполняют первичный бумажный извещательный акт. Данные о браке вручную передаются кладовщику, который заносит информацию в журнал учета ответственного хранения. Из-за отсутствия прямой интеграции с учетной базой информация о заблокированном рулоне становится доступной смежным службам с задержкой до 24 часов.

Особенно негативно данная задержка отражается на работе коммерческого отдела. Менеджеры по продажам, не обладая оперативными данными о забракованной партии сырья, продолжают формировать спецификации к договорам и планировать отгрузки на основе устаревших данных о наличии материалов. Это приводит к пересмотру условий контрактов, переоформлению заказанных спецификаций и возникновению претензий со стороны покупателей.

3.2. Архитектура автоматизированного модуля на базе платформы «1С:Предприятие 8.3»

Для решения выявленных проблем был спроектирован и реализован специализированный модуль контроля качества в среде «1С:Предприятие 8.3». Архитектура программного решения построена на принципах активного программного контроля данных и событиями управляемой маршрутизации [2].

В модуле реализованы алгоритмы проверки валидности вводимых сведений на уровне программного кода платформы. Например, при проведении документа «Перемещение рулонов» процедура-обработчик `ПередЗаписью` осуществляет считывание флага наличия брака: при установленном признаке система автоматически блокирует запись до момента указания логистической ячейки на складе брака. В свою очередь, событие `ПриЗаписи` взаимодействует со справочником «Ячейки склада», мгновенно переводя статус выбранной ячейки в значение «занята». При отмене проведения документа или списании сырья статус автоматически возвращается в состояние «свободна». Это полностью исключает риски повторного размещения материалов в одну ячейку.

Ключевым преимуществом созданного модуля является его глубокая интеграция с коммерческим контуром предприятия. Разработанная сквозная маршрутизация связывает акты о браке с клиентскими заказами, спецификациями продаж и договорной базой. В случае выявления бракованной партии система автоматически отправляет уведомления в отдел коммерческой эксплуатации и приостанавливает проведение связанных спецификаций. Это позволяет менеджерам коммерческой службы своевременно скорректировать объем заказа, направить официальное претензионное письмо поставщику бракованного сырья и перестроить график отгрузки готовой продукции без нарушения договорных обязательств.

Для руководства предприятия и специалистов коммерческого отдела разработан комплекс аналитических отчетов на базе Системы компоновки данных (СКД): «Принятие на ответственное хранение», «Статистика поставщиков по качеству сырья» и «Финансовая оценка потерь от брака» [5]. Отчеты позволяют ранжировать поставщиков по качеству поставляемой продукции и рассчитывать сумму удержаний по претензиям в автоматическом режиме.

3.3. Оценка эффективности и практические результаты

Оценка инвестиционной и операционной эффективности разработанного модуля проводилась на основе финансово-экономических показателей проекта внедрения на ЗАОр «НП НЧ КБК им. С.П. Титова» [1].

Общий объем капитальных затрат (CAPEX) на предпроектное обследование, разработку, тестирование и ввод модуля в эксплуатацию составил 104 376,30 рублей. В структуру затрат вошли расходы на оплату труда программиста-разработчика, страховые взносы, амортизационные отчисления и накладные расходы.

Внедрение модуля позволило получить следующий финансово-экономический эффект:

Сокращение прямых трудозатрат: Экономия себестоимости за счет автоматизации заполнения документов и снижения потерь от простоя оборудования составила 14 055,00 рублей в месяц.

Рост чистого денежного потока: С учетом налога на прибыль (25%), ежемесячный чистый денежный поток (NCF) от проекта составил 11 881,00 рубль.

Высокие показатели окупаемости: При годовой ставке дисконтирования 21% чистая текущая стоимость (NPV) за 12 месяцев планирования составила 23 220,59 рублей. Внутренняя норма доходности (IRR) достигла 61,91%, что значительно превышает барьерную ставку. Простой срок окупаемости равен 8,79 месяца, а дисконтированный срок окупаемости (DPP) – 9,62 месяца.

Минимизация коммерческих рисков: Время обработки претензионных документов и корректировки спецификаций продаж сократилось с 24 часов до 3–5 минут, что существенно повысило уровень удовлетворенности ключевых клиентов.

4. Выводы

Проведенное исследование подтверждает высокую практическую значимость реинжиниринга бизнес-процесса «Контроль качества» на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности [3]. Разработанный на базе «1С:Предприятие 8.3» модуль позволил трансформировать процедуру учета несоответствующей продукции из обособленной складской операции в эффективный инструмент управления качеством и коммерческими рисками.

Ключевым результатом работы является обеспечение бесшовного взаимодействия между складом брака, цехами и коммерческой службой. Автоматическая маршрутизация данных о дефектах сырья гарантирует актуальность договорных спецификаций и исключает риски использования брака при выполнении клиентских заказов. Расчет экономических показателей (NPV = 23 220,59 руб., IRR = 61,91%, DPP = 9,62 мес.) доказывает высокую инвестиционную привлекательность и быструю окупаемость разработанного ИТ-решения.

Список литературы

1. Сагитова Ю. Р. Совершенствование бизнес-процесса «Контроль качества» на предприятии ЗАОр «Народное предприятие Набережночелнинский картонно-бумажный комбинат им. С.П. Титова» с использованием платформы «1С: Предприятие 8.3» (Выпускная квалификационная работа). – Набережные Челны: НЧИ КФУ, 2025. – 91 с.

2. Радченко М. Г., Хрусталева Е. Ю. 1С: Предприятие 8.3 практическое пособие разработчика. – М.: 1С-Паблишинг, 2013. – 926 с.

3. Масленникова О. Е., Назарова О. Б. Моделирование бизнес-процессов: учебно-методическое пособие. – М.: Флинта, 2017. – 262 с.

4. Данилова О. В. Цифровые платформы как фактор повышения конкурентоспособности малого и среднего бизнеса // Экономика и управление. – 2025. – № 2. – С. 15–21.

5. Хрусталева Е. Ю. Разработка сложных отчетов в «1С:Предприятии 8». Система компоновки данных. 4-е изд. – М.: 1С-Паблишинг, 2024. – 500 с.

6. Иванченко Д. С. 1С:Предприятие за 5 занятий. – М.: Феникс, 2023. – 192 с.

7. Гимельштейн Е. А., Годван Д. Ф., Иконников Н. Е. Логистика склада: процессы внедрения автоматизации в современные склады. –Иркутск: ИГУ, 2021. –150 с.

8. Smith A. B., Johnson C. D. Quality management systems in pulp and paper manufacturing // Journal of Manufacturing Technology Management. 2021. Vol. 32. P. 45-60.

9. Williams R. Business process modeling and reengineering using ARIS and IDEF // International Journal of Information Management. 2022. Vol. 63. P. 1024-1035.

10. Brown T., Davis M. Automation of non-conforming product tracking in industrial warehouses // Production Planning & Control. 2020. Vol. 31, No. 5. P. 380-398.

УДК 005.8:334.7:004

УПРАВЛЕНИЕ ЭВОЛЮЦИЕЙ ТРЕБОВАНИЙ СТЕЙКХОЛДЕРОВ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ИТ-СТАРТАПА

Садриев А.Р., д.э.н., доцент, заведующий кафедрой инноваций и инвестиций Института управления, экономики и финансов;
ORCID: 0000-0003-3336-4217;
E-mail: a-sadriev@yandex.ru;
Шпагина А., магистрант Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: alikaspagina758@gmail.com

REQUIREMENT TRAJECTORIES OF STAKEHOLDERS THROUGH THE LENS OF IT STARTUP DEVELOPMENT

Sadriev A.R., Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Innovation and Investment Department at the Institute of Management, Economics, and Finance;
ORCID: 0000-0003-3336-4217;
E-mail: a-sadriev@yandex.ru;
Shpagina A., Master's Student at the Institute of Management, Economics, and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
E-mail: alikaspagina758@gmail.com

Аннотация

Цель исследования заключается в разработке подхода к управлению эволюцией требований стейкхолдеров в жизненном цикле ИТ-стартапа на основе их стадийной приоритизации.

Задачи исследования включают выявление особенностей трансформации требований по мере развития ИТ-стартапа, анализ изменения критичности различных групп требований на стадиях жизненного цикла проекта, а также разработку матрицы приоритетности требований стейкхолдеров.

Методологическую основу исследования составили анализ данных CB Insights, Startup Genome и Embroker, а также исследование траекторий развития десяти ИТ-стартапов – резидентов ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий “ИТ-парк”» города Казани. В работе

использованы методы анализа, систематизации и сопоставления требований стейкхолдеров по стадиям жизненного цикла стартапа.

Результаты. Установлено, что по мере развития ИТ-стартапа меняется не только состав требований, но и их функциональная роль в системе управления проектом. Выявлено, что ключевые управленческие риски возникают не вследствие увеличения количества требований, а в результате их несоответствия стадии жизненного цикла и необоснованного включения в управленческий контур проекта. Разработана матрица приоритетности требований стейкхолдеров по стадиям жизненного цикла стартапа, отражающая изменение критичности различных групп требований на этапах идеи, MVP, выхода на рынок, раннего роста и масштабирования.

Выводы. Приоритизация требований по стадиям жизненного цикла может рассматриваться как инструмент ограничения преждевременного организационного усложнения и повышения управляемости ИТ-стартапов в условиях роста организационной сложности и ограниченности ресурсов.

Ключевые слова: ИТ-стартап, управление требованиями, жизненный цикл стартапа, стейкхолдеры, стадийное соответствие требований, организационная сложность

Abstract

Purpose. This study aims to develop an approach to managing the evolution of stakeholder requirements across the IT startup lifecycle based on their stage-by-stage prioritization.

Objectives. The study identifies the characteristics of requirements transformation as an IT startup develops, analyzes shifts in the criticality of different requirement groups across lifecycle stages, and constructs a stakeholder requirements prioritization matrix.

Methodology. The study draws on data from CB Insights, Startup Genome, and Embroker, as well as an analysis of the development trajectories of ten IT startups resident at the IT Park technopark in Kazan. The methods employed include analysis, systematization, and cross-stage comparison of stakeholder requirements across startup lifecycle stages.

Results. It is shown that as an IT startup develops, not only the composition of requirements changes but also their functional role within the project management system. The study finds that critical managerial risks arise not from an increase in the number of requirements but from their misalignment with the current lifecycle stage and their unjustified inclusion in the project management scope. A stakeholder requirements prioritization matrix is constructed, mapping the criticality of different requirement groups across the ideation, MVP, go-to-market, early growth, and scaling stages.

Conclusions. Stage-by-stage requirements prioritization can be regarded as a tool for constraining premature organizational complexity and improving the manageability of IT startups under conditions of growing organizational complexity and resource scarcity.

Keywords: IT startup, requirements management, startup lifecycle, stakeholders, stage alignment of requirements, organizational complexity

Введение

В условиях активной цифровизации и цифровой трансформации ИТ-стартапы становятся важнейшей движущей силой модернизации экономики и формирования в ее пространстве новых технологических рынков. Одновременно с этим сохраняется высокий уровень организационной и экономической нестабильности малых инновационных предприятий, в особенности имеющих цифровой профиль деятельности. По данным Startup Genome [1], около 90% стартапов не достигают стадии устойчивого масштабирования, а CB Insights [2] относит к числу основных причин неудач не только нехватку финансирования или ошибки продуктовой стратегии, но и, что не менее важно, неспособность команд адаптировать развитие проекта к неопределенной динамике среды ведения бизнеса.

Сложившаяся ситуация во многом объясняется тем, что по мере развития стартапа усложняется не только разрабатываемый им продукт, но и система соответствующих требований, формируемых различными группами стейкхолдеров. Если на ранних стадиях эти требования определяются преимущественно основателями и ограниченным кругом пользователей, то по мере выхода на рынок в управленческий контур включаются инвесторы, корпоративные клиенты, технологические партнеры, инфраструктурные участники и другие экономические субъекты. При этом с появлением каждой новой группы стейкхолдеров не просто добавляются новые ожидания, но и меняется сама структура управленческих приоритетов стартапа. В результате требования перестают выступать исключительно инструментом описания функциональности продукта, решая еще и задачи перераспределения ограниченных ресурсов проекта между конкурирующими интересами его стейкхолдеров. Именно здесь возникает системное противоречие: организационная сложность стартапа начинает расти быстрее, чем способность его команды поддерживать связанность требований и удерживать стратегический фокус развития. Практика показывает, что преждевременное включение несогласованных требований ведет к избыточной динамике пересмотров решений, возвратов к исходным задачам и распылению ресурсов, формируя таким образом неоправданные транзакционные и ресурсные издержки.

Принципиально важным становится то, что несогласованное включение требований ведет к избыточному усложнению управленческого контура стартапа, росту конфликтности и потере стратегического фокуса. В этих условиях проблема управления требованиями становится задачей управления их эволюцией и связанностью в соответствии со стадией развития проекта.

Анализ литературы и теоретические основы

В научной литературе управление требованиями традиционно рассматривается как процесс выявления, документирования и согласования ожиданий заинтересованных сторон в рамках проектной деятельности [3]. Наиболее распространенные подходы, изложенные в BABOK, Agile, Scrum и Lean, ориентированы на обеспечение адаптивности разработки и повышение согласованности взаимодействия между командой и заказчиком [4, 5]. При этом в большинстве существующих подходов требования рассматриваются преимущественно либо как элементы продуктового бэклога либо как формализованные характеристики проектируемого решения. В такой концептуальной интерпретации требования выступают с позиции объектов приоритизации, декомпозиции и последующего контроля реализации. Однако, подобная логика демонстрирует свою состоятельность лишь для относительно устойчивых организационных систем, где структура участников и управленческих приоритетов изменяется постепенно и предсказуемо.

Между тем, в условиях функционирования ИТ-стартапов требования приобретают качественно иное содержание. Высокая неопределенность рыночной среды, ограниченность ресурсов и быстрые изменения состава стейкхолдеров ведут к тому, что требования начинают выполнять функцию балансирования организационных и управленческих ресурсов проекта [3, 6]. Каждое очередное требование фактически фиксирует управленческий выбор относительно направления развития продукта, распределения времени команды и концентрации организационного внимания. В этой логике конфликт требований возникает не только как техническая несовместимость отдельных решений, но и проявляется в форме конкуренции интересов различных групп стейкхолдеров. Пользователи ориентированы на расширение функциональности и удобства продукта, инвесторы – на масштабируемость и темпы роста, корпоративные клиенты – на адаптацию под собственные процессы. В результате требования начинают конкурировать не только содержательно, но и за ограниченный ресурс управленческого внимания команды [5]. Одновременная реализация всех этих требований в условиях перманентного дефицита ресурсов становится важнейшим источником роста организационной сложности и управленческой конфликтности. Очевидно, что в сложившейся ситуации

проблема управления требованиями в ИТ-стартапе не может быть сведена исключительно к их приоритизации. Существенно важнее способность стартапа поддерживать связанность требований в соответствии со стадией собственного жизненного цикла. Несогласованное включение требований приводит к распылению ресурсов, росту числа пересмотров решений и постепенной утрате стратегического фокуса развития [1].

Таким образом, требования целесообразно рассматривать как динамически изменяющуюся систему, отражающую эволюцию интересов стейкхолдеров и организационного контура малой инновационной компании. Это требует перехода от управления отдельными требованиями к управлению их эволюцией и связанностью.

Методология

Итак, следуя ранее изложенному исследовательскому замыслу будем исходить из положения о том, что по мере развития ИТ-стартапа усложняется не только продукт, но и структура требований, формируемых различными группами стейкхолдеров. В условиях ограниченности ресурсов опасность представляет не само увеличение числа требований, а необоснованное включение требований, не соответствующих текущему состоянию проекта. Такое развитие событий ведет за собой рост конфликтности, распыление ресурсов и усложнение управленческого контура стартапа.

В связи с этим работу с требованиями целесообразно рассматривать как управление их эволюцией в соответствии со стадией жизненного цикла проекта. Предлагаемый подход основан на интерпретации требований как системы, динамика которой является производной от изменения структуры интересов стейкхолдеров и управленческих приоритетов стартапа. Исходя из этой исследовательской позиции была разработана матрица эволюции требований, в которой каждое из них увязано с определенными стадиями жизненного цикла ИТ-стартапа.

Эмпирическая основа матрицы сформирована на базе аналитических данных CB Insights, Startup Genome и Embroker, а также структурированного анализа траекторий развития десяти ИТ-стартапов, являющихся резидентами ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий “ИТ-парк”» города Казани. Полученные данные использовались для выделения ключевых групп требований и оценки их значимости в рамках каждой из стадий жизненного цикла исследуемой выборки малых инновационных предприятий.

При этом анализируемые требования были распределены по трем основным категориям:

– требования, формирующие непосредственную ценность для клиента (Customer Value Added – CVA);

– требования, обеспечивающие устойчивость и развитие проекта как системы (Business Value Added – BVA);

– требования, не создающие ценности на текущей стадии развития (Non-Value Added – NVA).

Принципиально важно отметить, что предлагаемая классификация не является статической. Одно и то же требование способно менять свой статус по мере развития стартапа. Требование, не создающее ценности на стадии выхода на рынок, может стать критически значимым на стадии раннего роста или масштабирования. В таком понимании матрица выполняет не только аналитическую, но и ограничительную функцию. Ее задача заключается не во включении максимального числа требований в поток разработки, а в предотвращении преждевременного усложнения организационного контура проекта. Отсутствие отдельных требований на определенной стадии рассматривается как инструмент удержания стратегического фокуса и ограничения конфликтов между требованиями.

В целом, предлагаемый механизм включает:

– определение стадии жизненного цикла стартапа;

– оценку соответствия требования конкретной стадии жизненного цикла;

– анализ конфликтности требования по отношению к текущему потоку разработки;

– принятие решения о включении, ограничении или переносе требования.

Такая архитектура механизма позволяет снизить вероятность преждевременного усложнения стартапа и сохранить связанность требований в условиях роста организационной сложности.

Методологическую основу исследования составили методы анализа и систематизации данных отраслевых исследований Startup Genome, CB Insights и Embroker, а также структурированное моделирование требований на основе анализа траекторий развития десяти ИТ-стартапов – резидентов ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий “ИТ-парк”» города Казани.

В качестве объекта анализа рассматривались продуктовые, инфраструктурные, инвестиционные, финансовые, юридические и организационные требования, возникающие на различных стадиях жизненного цикла стартапа. Для оценки их значимости использовалась шкала критичности, отражающая степень влияния требований на устойчивость и развитие проекта.

Следует учитывать, что предложенная модель носит аналитический характер и требует дальнейшей эмпирической верификации на расширенной выборке ИТ-стартапов.

Основная часть

Анализ данных CB Insights, Startup Genome и траекторий развития десяти ИТ-стартапов – резидентов ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий “ИТ-парк”» города Казани показал, что по мере развития стартапа происходит последовательное изменение уровня критичности у различных групп требований. Если на ранних стадиях доминирующее значение имеют продуктовые требования, то в дальнейшем структура приоритетов начинает усложняться за необходимости учета инфраструктурных, финансовых, юридических и организационных ограничений.

На стадии идеи важнейшую роль играют требования, связанные с подтверждением рыночной потребности. Основное значение приобретают пользовательские сценарии, гипотезы ценности продукта и требования к минимальному функционалу. Ошибки на данном этапе преимущественно связаны с некорректной интерпретацией пользовательских запросов и преждевременным усложнением продукта. Анализ деятельности рассмотренных стартапов показал, что включение инфраструктурных и организационных требований высокого уровня на стадии идеи в большинстве случаев не приводило к повышению устойчивости проекта, однако увеличивало нагрузку на команду и замедляло проверку продуктовой гипотезы.

На стадии MVP структура требований существенно меняется. Помимо продуктовых требований возрастает значимость требований команды и инфраструктурной устойчивости. Нестабильность прототипа, отсутствие распределения ролей и высокая организационная нагрузка начинают напрямую влиять на качество обратной связи от пользователей и скорость корректировки продукта. При этом юридические и финансовые требования пока еще сохраняют ограниченную критичность, поскольку объем коммерческих операций остается относительно небольшим.

Наиболее заметное изменение структуры требований наблюдается на стадии выхода на рынок. Именно на данном этапе большинство исследованных стартапов впервые сталкивалось с необходимостью одновременного учета нескольких групп требований, обладающих сопоставимым уровнем критичности. Пользовательские требования продолжали определять направление развития продукта, однако одновременно резко возрастала значимость финансовых, юридических и инфраструктурных ограничений. По данным проведенного анализа, именно стадия выхода на рынок сопровождалась максимальным ростом числа конфликтных управленческих решений, связанных с распределением времени команды и последовательностью реализации требований.

Для большинства исследованных стартапов характерной проблемой становилось несоответствие между скоростью продуктового развития и зрелостью организационной инфраструктуры. Например, ускоренное расширение функциональности без развития инфраструктуры сопровождалось ростом числа технических сбоев и снижением устойчивости сервиса. В ряде случаев требования быстрого масштабирования вступали в противоречие с требова-

ниями информационной безопасности и нормативного соответствия, что приводило к задержкам вывода новых функций или необходимости последующей переработки архитектуры продукта. Дополнительным фактором усложнения становилось изменение структуры стейкхолдеров. Если на ранних стадиях ключевое влияние сохраняли основатели и пользователи, то на стадии выхода на рынок возрастала роль инвесторов, корпоративных партнеров и регуляторов. Это приводило к одновременному увеличению количества требований и росту их взаимозависимости. В результате требования, ранее обладавшие второстепенным значением, начинали оказывать прямое влияние на устойчивость проекта.

Полученные результаты легли в основу матрицы приоритетности требований стейкхолдеров по стадиям жизненного цикла стартапа (рис. 1). Матрица отражает изменение уровня критичности различных групп требований на стадиях идеи, MVP, выхода на рынок, раннего роста и масштабирования. Шкала оценки включает четыре уровня: 0 – требование нерелевантно; 1 – требование желательно к проработке; 2 – требование важно; 3 – требование критично и связано со значимыми управленческими рисками.

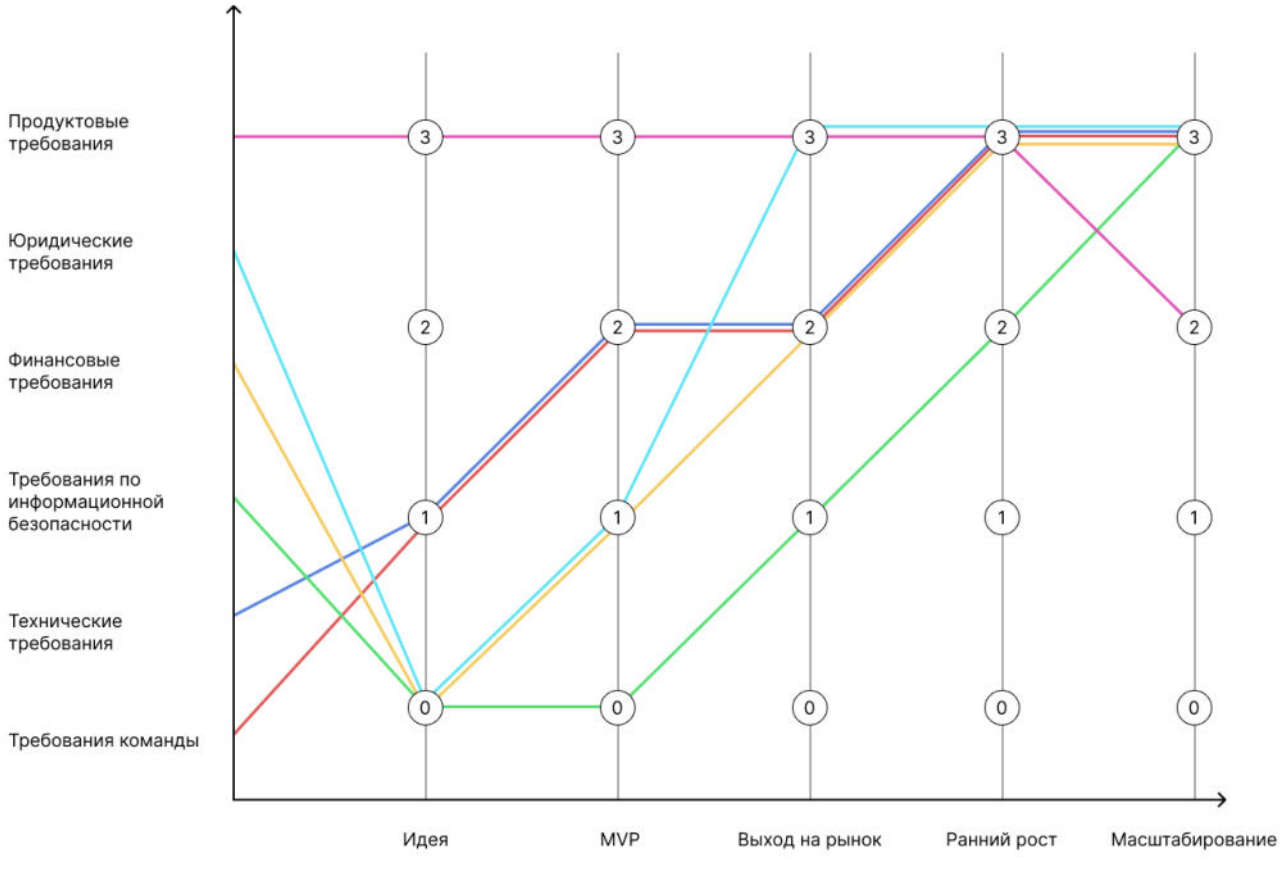


Рис 1. Матрица приоритетности требований стейкхолдеров по стадиям жизненного цикла ИТ-стартапа

Источник: составлено автором.

Матрица показывает, что на стадии идеи доминируют продуктовые требования, тогда как инвестиционные, юридические и инфраструктурные требования обладают минимальной критичностью. На стадии MVP начинает возрастать значимость требований команды и инфраструктурной устойчивости. Стадия выхода на рынок характеризуется резким увеличением критичности финансовых и юридических требований, а также требований информационной безопасности. На стадиях раннего роста и масштабирования большинство групп требований достигает высокого уровня значимости одновременно, что существенно повышает нагрузку на систему управления проектом.

Проведенный анализ показал, что управленческие риски возникают не вследствие самого увеличения числа требований, а в результате их несоответствия стадии жизненного цикла. Требования, потенциально способные создавать ценность на более поздних стадиях, при преждевременном включении приводили к перераспределению ресурсов и снижению устойчивости проекта. Характерными для данной ситуации примерами являлись раннее внедрение сложной корпоративной инфраструктуры, избыточная формализация процессов управления или масштабирование технической архитектуры без подтвержденного спроса.

На стадиях начального роста и масштабирования большинство исследованных стартапов переходило от продуктовых ограничений к ограничениям организационного характера. Основными источниками управленческой нестабильности становились координация распределенных процессов, поддержание инфраструктурной устойчивости, обеспечение нормативного соответствия и согласование интересов различных групп стейкхолдеров. В этих условиях отсутствие механизмов стадийной приоритизации требований сопровождалось ростом организационной перегрузки и снижением управляемости проекта.

Особое значение результаты исследования приобретают для регулируемых сегментов ИТ-сектора. Анализ стартапов, связанных с обработкой медицинских, финансовых и биометрических данных, показал, что юридические требования и требования информационной безопасности переходят в категорию критичных уже на ранних стадиях жизненного цикла. В подобных условиях нарушение стадийной последовательности требований способно блокировать развитие проекта еще до выхода продукта на рынок.

Выводы

Проведенное исследование показало, что по мере развития ИТ-стартапа меняется не только состав требований, но и их функциональная роль в системе управления. Если на ранних стадиях требования преимущественно выступают механизмом снижения рыночной неопределенности и проверки продуктовой гипотезы, то по мере выхода на рынок и перехода к масштабированию они начинают определять распределение организационных, финансовых и управленческих ресурсов проекта.

Установлено, что критичность различных групп требований напрямую зависит от стадии жизненного цикла стартапа. На стадиях идеи и MVP доминирующее значение сохраняют продуктовые требования, тогда как на этапах выхода на рынок, раннего роста и масштабирования резко возрастает значимость юридических, финансовых, инфраструктурных и организационных ограничений. В результате по мере усложнения организационного контура стартапа требования начинают формировать взаимозависимую систему, в рамках которой нарушение стадийного соответствия приводит к росту управленческой нестабильности.

Проведенный анализ показал, что ключевые риски для ИТ-стартапов возникают не вследствие самого увеличения количества требований, а в силу их преждевременного включения в управленческий контур проекта. Несоответствие между стадией развития стартапа и структурой реализуемых требований сопровождается распылением ресурсов, ростом организационной нагрузки и снижением управляемости проекта. Наиболее выраженно данная проблема проявляется на стадии выхода на рынок, где одновременно начинают возрастать требования пользователей, инвесторов, регуляторов и инфраструктурных партнеров.

На основе анализа данных CB Insights, Startup Genome и траекторий развития ИТ-стартапов – резидентов ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий “ИТ-парк”» города Казани была разработана матрица приоритетности требований стейкхолдеров по стадиям жизненного цикла стартапа. Предложенная модель позволяет учитывать изменение критичности требований в зависимости от стадии развития проекта и использовать приоритизацию как инструмент ограничения преждевременного организационного усложнения.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения предложенного подхода для повышения управляемости ИТ-стартапов в условиях роста организационной сложности и ограниченности ресурсов. Использование матрицы позволя-

ет систематизировать процесс работы с требованиями стейкхолдеров, снижать вероятность конфликтных управленческих решений и поддерживать согласованность развития проекта на различных стадиях жизненного цикла.

Полученные результаты носят аналитический характер и требуют дальнейшей эмпирической верификации на расширенной выборке ИТ-стартапов, включая проекты из высокорегулируемых отраслей цифровой экономики.

Список литературы

1. Startup Genome. Global Startup Ecosystem Report 2023. – URL: https://startupgenome.com/report/gser2023 (дата обращения: 25.04.2025).

2. CB Insights. The Top Reasons Startups Fail. – URL: https://www.cbinsights.com/research/startup-failure-reasons-top/ (дата обращения: 25.04.2025).

3. Hull, E. Requirements Engineering / E. Hull, K. Jackson, J. Dick. – 3rd ed. – London : Springer, 2011. – 227 p.

4. Schwaber, K. The Scrum Guide / K. Schwaber, J. Sutherland. – [Б. м.] : Scrum.org, 2020. – URL: https://scrumguides.org/scrum-guide.html (дата обращения: 20.04.2025).

5. Kathram, S. R. Enhancing Stakeholder Engagement through Agile Project Transparency: A Roadmap for Modern Project Managers / S. R. Kathram, S. R. Nersu // Revista de Inteligencia Artificial en Medicina. – 2024. – Vol. 15, № 1. – P. 1358–1389.

6. Wiegers, K. Software Requirements / K. Wiegers, J. Beatty. – 3rd ed. – Redmond : Microsoft Press, 2013. – 672 p.

УДК 004.8:658.8

РИСКИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В УПРАВЛЕНИЕ МАРКЕТПЛЕЙСАМИ

Салиева Д.Д., магистрант;
ORCID: 0009-0002-3736-9584;
E-mail: daniya.salieva1999@gmail.com;
Федорова О.В., к.пед.н., доцент кафедры информационных технологий, проректор по цифровой трансформации УВО «Университет управления «ТИСБИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-7921-1209

RISKS OF IMPLEMENTING BIG DATA AND MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES IN MARKETPLACE MANAGEMENT

Salieva D.D., Master's student;
ORCID: 0009-0002-3736-9584;
E-mail: daniya.salieva1999@gmail.com;
Fedorova O.V., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Technologies, Vice-Rector for Digital Transformation of the University of Management «TISBI», Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-7921-1209

Аннотация

Внедрение технологий Big Data и машинного обучения в деятельность маркетплейсов открывает большие возможности для оптимизации управленческой аналитики и повышения эффективности их работы. Однако, даже самое успешное внедрение данных технологий

сопровождается возникновением ряда рисков, которые при отсутствии системного подхода, могут существенно снизить устойчивость и нанести серьезный ущерб деятельности. Актуальность исследования связана с тем, что в существующей научной литературе данный вопрос освещается недостаточно подробно. Цель исследования – выявление, классификация, систематизация и построение матрицы оценки рисков. В данном исследовании методологическую основу составляют процессный, риск-ориентированный и системный подходы. Были использованы методы анализа научной литературы, классификации, систематизации и методы матричного анализа. Результатом исследования является идентификация четырех групп рисков – технологические, управленческие, экономические и информационные. Для каждой из этих групп приведены кейсы из практики российских маркетплейсов. Разработана матрица, которая позволяет ранжировать риски по вероятности их возникновения и степени влияния на деятельность. Предложенные матрица и классификация рисков могут быть использованы менеджментом маркетплейсов для своевременного выявления угроз, построения систем управления рисками, и в дальнейшем принятия обоснованных управленческих решений.

Ключевые слова: цифровая трансформация, маркетплейсы, Big Data, машинное обучение, анализ данных, управление рисками, электронная коммерция, матрица рисков

Abstract

The introduction of Big Data and machine learning technologies into the operations of marketplaces opens up a large number of opportunities for optimizing management analytics and improving the efficiency of their operations. However, even the most successful implementation of these technologies is accompanied by a number of risks, which, in the absence of a systematic approach, can significantly reduce stability and cause serious damage to operations. The relevance of the study is due to the fact that this issue is not covered in sufficient detail in the existing scientific literature. The aim of the study is to identify, classify, systematize, and build a risk assessment matrix. In this study, the methodological basis consists of process-oriented, risk-based, and systemic approaches. Methods of analyzing scientific literature, classification, systematization, and matrix analysis were used. The result of the study is the identification of four groups of risks – technological, managerial, economic, and informational. Cases from the practice of Russian marketplaces are provided for each of these groups. A matrix has been developed that allows risks to be ranked according to the probability of their occurrence and the degree of their impact on operations. The proposed matrix and risk classification can be used by marketplaces' management to timely identify threats, build risk management systems, and subsequently make informed management decisions.

Keywords: digital transformation, marketplaces, Big Data, machine learning, data analysis, risk management, e-commerce, risk matrix

Введение

В условиях цифровой трансформации экономики маркетплейсы становятся ключевыми участниками рынка электронной коммерции. Их деятельность напрямую связана с обработкой больших объемов информации о пользователях, товарах, транзакциях, логистических процессах и взаимодействии между участниками цифровых платформ. В связи с этим технологии Big Data и машинного обучения становятся важнейшими инструментами повышения эффективности управления работой маркетплейсов.

Технологии Big Data применяются для обработки большого объема структурированных и неструктурированных данных, а алгоритмы машинного обучения обеспечивают выявление скрытых закономерностей и построение моделей для прогнозирования. Благодаря данным технологиям у маркетплейсов появляется возможность прогнозировать спрос, оптимизировать ассортимент, персонализировать предложения и совершенствовать процессы логистики, тем самым способствуя повышению качества обслуживания клиентов.

Наряду с этим внедрение технологий Big Data и машинного обучения всегда сопровождается возникновением ряда рисков, связанных с качеством данных, надежностью алгоритмов, обеспечением информационной безопасности, экономической целесообразностью и готовностью маркетплейсов к внедрению новых технологий. Недооценка данных рисков может привести к снижению эффективности работы, финансовым потерям и ухудшению их конкурентоспособности.

Цель данного исследования – классификация, систематизация и построение матрицы оценки рисков внедрения технологий Big Data и машинного обучения в управление маркетплейсами на основе анализа научной литературы и практик применения.

Методика исследования

Для данного исследования использован комплекс общенаучных и специальных методов исследования. Выбор связан с тем, что изучаемая в исследовании проблема находится на стыке цифровой экономики, управления рисками и интеллектуальных технологий обработки данных.

В качестве теоретико-методологической основы исследования использованы три подхода, взаимодополняющих друг друга:

1) Системный подход. С его помощью маркетплейс был рассмотрен как цифровая экосистема, которая включает в себя взаимосвязанные элементы (продавцы, покупатели, операторы логистики, алгоритмические операторы), а риски внедрения технологий Big Data и машинного обучения как явление системы, которое возникает на стыке взаимодействия этих элементов;

2) Риск-ориентированный подход. Позволил сфокусироваться на идентификации, оценке и ранжировании угроз в соответствии с современной парадигмой управления, которая закреплена в стандартах ГОСТ Р ИСО 31000-19 [1];

3) Процессный подход. Помог структурировать управление рисками как последовательный процесс, который включает в себя этапы идентификации, оценки, мониторинга и минимизации.

Исследование включало в себя 4 этапа, каждый из них решал свою конкретную задачу:

а) Первый этап – посвящен теоретическому анализу научной литературы. На данном этапе проведен обзор и анализ отечественной и зарубежной литературы, связанной с проблемой применения технологий Big Data и машинного обучения в управлении маркетплейсами, а также вопросами управления рисками цифровых платформ;

б) Второй этап – связан с идентификацией и классификацией рисков. На основе данных научной литературы и анализа публикаций, которые освещают практику российских маркетплейсов, были выделены основные группы рисков, возникающих при внедрении технологий Big Data и машинного обучения;

в) Третий этап – анализ практических кейсов. Для того, чтобы подтвердить теорию и наглядно продемонстрировать выделенные риски на данном этапе проведен анализ открытых данных о деятельности маркетплейсов;

г) Четвертый этап – проведение матричного анализа оценки рисков. На данном этапе использован метод матричного моделирования для ранжирования выявленных рисков. Оценка рисков производилась по двум параметрам – вероятность возникновения и степень влияния на деятельность маркетплейсов. Значения данных параметров присваивались на основе анализа научной литературы и обобщения данных о реальных проблемах на российских маркетплейсах.

Основная часть

1) Анализ научной литературы по проблеме исследования

В процессе подготовки статьи проведен анализ отечественных и зарубежных научных работ, которые посвящены применению технологий Big Data и машинного обучения в управлении маркетплейсами, а также вопросам, связанным с управлением рисками.

Например, в работе российских авторов Городновой Н.В. и Руденко К.С. анализируется динамика рынка электронной торговли, проблемы регулирования маркетплейсов и зависимость продавцов от условий данных платформ. Данная работа создает теоретическую базу для понимания экономических рисков [2]. Также можно отметить работу Осеневой П.С. и Юсуповой Г.Ф, авторы провели сравнительный анализ моделей взаимодействия пяти крупных маркетплейсов (Ozon, Wildberries, AliExpress, МегаМаркет от Сбера, Яндекс Маркет), показав, что рынок электронной коммерции находится под контролем нескольких крупных игроков, и это создает риски для участников, которые зависят от правил и алгоритмов данных платформ [3]. Особый интерес представляет работа, посвященная финансовым рискам, которые вызваны непосредственно действиями маркетплейсов (ФРДМ), как самостоятельной аналитической категорией. Автор Осеев С.А. подчеркивает, что источник уязвимости формируется на уровне архитектуры правил платформы (комиссии, алгоритмы видимости, условия допуска, контрактные режимы), которые способны менять доход участников без изменения внутренних процессов или рыночного спроса [4].

Важно выделить и зарубежные научные исследования, например, большое значение имеет работа автора Sarker I.H., в ней представлен обзор принципов работы алгоритмов машинного обучения и их применения в сфере электронной коммерции [5]. Или же в исследовании Turki H., которое опубликовано в журнале Technology in Society, рассмотрено влияние персонализации, основанной с помощью алгоритмизации, на поведение пользователей. Данное исследование проведено с помощью данных маркетплейса Amazon за 2018-2022 года [6], в нем поднимаются вопросы управления, этики и прозрачности алгоритмов. Кроме того, отметим авторов Razzaq K. и Shah M., в их исследовании анализируются препятствия внедрения машинного обучения для предотвращения киберпреступности в онлайн-ритейле, связывают они это с нехваткой специальных навыков, проблемами конфиденциальности и доверием пользователей [7]. Далее дадим краткий обзор исследования автора Tadiboyina V.R. и его соавторов, они рассматривают влияние генеративного искусственного интеллекта (ИИ) на электронную коммерцию с точки зрения рисков «галлюцинаций» алгоритмов [8]. В качестве последней научной работы кратко опишем исследование Silva L.C и его соавторов, в ней изучены проблемы алгоритмы ранжирования на маркетплейсах [9].

На основе анализа научных работ можно сделать выводы, что: а) технологии Big Data и машинного обучения активно применяются на маркетплейсах; б) внедрение таких технологий всегда сопровождается определенными видами рисков; в) авторы в основном фокусируются на отдельных аспектах проблемы, а комплексный подход к систематизации и оценке рисков внедрения отсутствует. Вследствие этого данный пробел помогает сделать акцент на разработке классификации рисков и инструмента их оценки, который был бы адаптирован к специфике определенного маркетплейса.

2) Классификация рисков внедрения технологий Big Data и машинного обучения в управление маркетплейсами

Первый этап посвящен анализу и обобщению научной литературы, и на основании этого анализа можно выделить 4 группы рисков – технологические, управленческие, экономические и информационные. Данная предложенная классификация позволит структурировать угрозы по источнику возникновения и разработать направления и меры для их минимизации. Опишем каждую группу рисков и с чем они связаны:

а) Технологические риски. Связаны с качеством данных, которые используются для обучения моделей, надежностью алгоритмов и сложностью их интерпретации. К этой группе рисков относятся: качество данных (использование неполных, недостоверных данных может привести к неверному прогнозированию и исказить результаты); отказы и сбои алгоритмов (ошибки в работе моделей машинного обучения могут вызвать сбои в процессах прогнозирования, ценообразования и логистических процессах); интерпретируемость (проблема «черного ящика» связана со сложностью моделей, так как не позволяет объяснить по какой причине тот или иной алгоритм принял решение, что затрудняет анализ ошибок и принятие управлен-

ческих решений); переменчивость алгоритмов платформ (постоянные обновления алгоритмов ранжирования и ценообразования создают неопределенность для продавцов и необходимость постоянно адаптироваться под эти условия).

б) Управленческие риски. Связаны с недостаточным уровнем компетенций персонала, ошибками понимания результатов анализа данных и неэффективным управлением внедрения. К ним можно отнести: недостаток квалифицированных специалистов в области внедрения технологий Big Data и машинного обучения; неверную интерпретацию результатов (менеджеры могут неправильно принять решение из-за неправильно понятых выводов результата алгоритма); недоверие персонала (сотрудники могут не доверять рекомендациям от системы и продолжать действовать по шаблонам, которые были ранее, тем самым это снижает эффективность внедрения); изменения правил платформы (маркетплейсы очень часто меняют условия работы, комиссии и алгоритмы, в связи с этим требуется постоянная адаптация бизнес-процессов).

в) Экономические риски. Связаны с финансовыми потерями, которые возникают в процессе внедрения и применения технологий Big Data и машинного обучения. К ним можно отнести: превышение бюджета (реальные затраты на внедрение и поддержку часто выше, чем запланированные); снижение ROI – ключевой показатель эффективности вкладывания финансовых средств (ожидаемая экономическая эффективность от внедрения может не оправдаться из-за возможных ошибок в прогнозах или снижения эффективности моделей); изменение законодательства в сфере налогообложения.

г) Информационные риски. Связаны с угрозами конфиденциальности, целостности и доступности данных, которые обрабатывают маркетплейсы. Из-за того, что платформы накапливают значительные объемы персональных и транзакционных данных они становятся целью для мошенников. Правовое регулирование обработки персональных данных в Российской Федерации осуществляется Федеральным законом от 27.07.2006 о «Персональных данных», которое устанавливает обязанности операторов (к ним относятся и маркетплейсы) по обеспечению конфиденциальности и защите данных граждан. К данной группе рисков относятся: утечка персональных данных (может привести к финансовым и репутационным потерям); нарушение законодательства (влечет за собой административную и уголовную ответственность); фишинговые атаки и мошенничество (использование данных для обмана продавцов и клиентов); потеря доступа к данным (ограничение доступа к данным может привести к потере аналитических инструментов для бизнеса, на основе которых построены все процессы);

3) Практические кейсы, связанные с рисками применения технологий

В подтверждение классификации рисков, предложенной на предыдущем этапе исследования, рассмотрим кейсы, связанные с рисками применения технологий на реальных маркетплейсах (Ozon, Wildberries). Для этого составим таблицу 1, которая будет наглядно их демонстрировать [10].

Таблица 1

Примеры рисков внедрения технологий Big Data и машинного обучения на российских маркетплейсах

№ п/п	Группа риска	Маркетплейс	Случай
1	Технологические	Wildberries	Сбой в работе сервисов из-за аварии в датацентре
		Ozon	Кратковременная недоступность сайта и системы ПВЗ (пункт выдачи заказов)
		Ozon	Сбой, вызванный DDoS-атакой на сервисы маркетплейса

Окончание табл. 1

№ п/п	Группа риска	Маркетплейс	Случай
2	Управленческие	Wildberries, Ozon	Корректировка правил взаимодействия с продавцами
3	Экономические	Wildberries, Ozon	Отмена индекса остатка, корректировка возврата
4	Информационные	Wildberries	Выявление мошеннической схемы с использованием вредоносного ПО (программного обеспечения)
		Ozon	Фишинговая атака под именем маркетплейса

Из данной таблицы можно отметить, что:

– технологические риски проявляются в виде сбоев работы цифровых платформ. Связано это как с внешними (DDoS-атаки), так и внутренними (аварии в центрах обработки данных) причинами. Это свидетельствует о том, что операционная деятельность маркетплейсов сильно зависит от бесперебойной работы IT-инфраструктуры и алгоритмических систем;

– управленческие риски часто связаны с изменениями правил работы платформ под воздействием внешних систем регулирования, тем самым создавая неопределенность для всех участников данных платформ;

– экономические риски также подтверждаются практикой, исходя из примера можно сделать вывод, что экономическая модель маркетплейсов остается уязвимой для регуляторных изменений и для решений самих платформ;

– информационные риски связаны с недостоверностью данных и мошенническими операциями, данный вид рисков имеет системный характер, а их масштабы требуют постоянного мониторинга, и усовершенствования мер защиты.

4) Матричный анализ оценки рисков

На основании предложенной классификации и анализа практических кейсов проведена оценка выявленных рисков по двум параметрам – вероятности возникновения и степени влияния на деятельность маркетплейсов. Для того, чтобы продемонстрировать полученные результаты необходимо применить метод матричного анализа, так как это позволит ранжировать выявленные угрозы по степени их приоритета. В результате выполненного анализа риски можно распределить следующим образом: качество данных – риск с высокой вероятностью возникновения и средним влиянием; недостаток компетенций – имеет среднюю вероятность возникновения и среднее влияние; превышение бюджета – средняя вероятность возникновения со средним влиянием; сбои алгоритмов – средняя вероятность возникновения, но имеет высокое влияние; утечка данных – данный риск имеет среднюю вероятность возникновения, но высокое влияние; риск, связанный с репутацией – низкая вероятность возникновения, но высокое влияние.

Выводы

Таким образом, проведенное исследование позволило достичь поставленной цели, которая была связана с выявлением, классификацией и систематизацией рисков внедрения технологий Big Data и машинного обучения в управление маркетплейсами.

В данном исследовании был проведен анализ научной литературы, на ее основании были идентифицированы четыре группы рисков (технологические, управленческие, экономические, информационные), изучена реальная практика российских маркетплейсов, а также дана оценка рисков по степени их возникновения и влияния на деятельность.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 31000–2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 28 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200170125.

2. Городнова Н. В., Руденко К. С. Электронная торговля в России и за рубежом: анализ динамики, проблемы регулирования и перспективы // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Т. 14. № 7. – С. 1–18. DOI: 10.18334/epp.14.7.121312. – URL: https://1economic.ru/lib/121312.

3. Осенева П. С., Юсупова Г. Ф. Конкуренция между маркетплейсами в России: роль модели взаимодействия с продавцами, покупателями и владельцами пунктов выдачи заказов // Финансы и бизнес. – 2024. – Т. 20. № 4. – С. 135–158. – URL: https://publications.hse.ru/en/articles/1013029867.

4. Финансовые риски, вызванные действиями маркетплейса (ФРДМ) как новая аналитическая дисциплина // CyberLeninka. – 2025. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/finansovye-riski-vyzvannye-deystviyami-marketpleysa-frdm-kak-novaya-analiticheskaya-distsiplina.

5. Sarker I.H. Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions // SN Computer Science. 2021. Vol. 2. № 3. P. 1–21. DOI: 10.1007/s42979-021-00592-x. – URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-021-00592-x.

6. Turki H. AI-powered personalization in e-commerce: Governance, consumer behavior, and exploratory insights from big data analytics // Technology in Society. 2025. Vol. 83. Art. 103033. DOI: 10.1016/j.techsoc.2025.103033. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X25002234.

7. Razzaq K., Shah M. Barriers to Implementing ML for Cybercrime Prevention in Online Retailing // SaudiCIS 2024 Proceedings. 2024. –URL: https://aisel.aisnet.org/saudicis2024/58/.

8. Tadiboyina V.R., Kunhare N., Ojha B., Bilaiya O., Rastogi A. Impact of Generative AI on E-Commerce: Systematic Review // 2025 IEEE 5th International Conference on ICT in Business Industry & Government (ICTBIG). 2025. P. 1–7. DOI: 10.1109/ICTBIG68706.2025.11323974. – URL: https://doi.org/10.1109/ICTBIG68706.2025.11323974.

9. Silva L.C., Lucrédio D. Exploring Score-Based Ranking Fairness in Marketplace Environments Through Simulation // Paes A., Verri F.A.N. (eds.) Intelligent Systems. BRACIS 2024. Lecture Notes in Computer Science. 2024. Vol. 15414. P. 276–290. DOI: 10.1007/978-3-031-79035-5_19. – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-79035-5_19.

10. https://www.interfax.ru/russia/1003574 – РКН фиксирует сбой в работе сервисов Wildberries из-за аварии в центре обработки данных; https://govoritmoskva.ru/news/470293/ – В OZON подтвердили сбой на сайте и в партнёрской системе ПВЗ; https://news.ru/amp/society/rossiyane-massovo-zhaluyutsya-na-sboi-v-rabote-populyarnogo-marketplejsa – Россияне массово жалуются на сбои в работе популярного маркетплейса; https://expert.ru/news/ozon-i-wildberries-peresmotreli-pravila-dlya-prodavtsov-po-rekomendatsii-fas#1 – Ozon и Wildberries пересмотрели правила для продавцов по рекомендации ФАС; https://www.m24.ru/videos/29012025/764994 – Ozon подтвердил мошенническую рассылку в соцсети "ВКонтакте" от имени компании; https://ura.news/news/1052924843 – Мошенники пытались украсть 15 млн рублей из кабинетов пользователей Wildberries; https://www.interfax.ru/russia/1006241 – ФАС выдала Ozon и Wildberries предупреждение из-за условий проведения акций.

УДК 339.1

СОБСТВЕННЫЕ И ПОСРЕДНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ТОРГОВЫЕ ПЛОЩАДКИ B2B НА РЫНКАХ РОССИИ И МИРА

Сафиуллин М.Р., д.э.н., профессор, вице-президент Академии наук Республики Татарстан, проректор по вопросам экономического и стратегического развития ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0000-0003-3708-8184;
Гурьянов А.И., старший научный сотрудник Центра перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-9870-7973

CAPTIVE AND INTERMEDIARY B2B ELECTRONIC TRADE PLATFORMS IN RUSSIAN AND GLOBAL MARKETS

Safiullin M.R., Doctor of Economics, Professor, Vice President of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Vice-Rector for Economic and Strategic Development, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID: 0000-0003-3708-8184;
Gurianov A.I., Senior Researcher, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-9870-7973

Аннотация

Электронные торговые площадки (ЭТП) стали одним из важнейших каналов электронной коммерции. ЭТП межфирменного взаимодействия (B2B) способны существенно снизить трансакционные издержки и повысить эффективность межфирменных связей цепочек ценности. Объем мирового рынка ЭТП B2B составил 65% от рынка электронной торговли B2B и имеет тенденцию к росту. Выявлено, что как на отечественном, так и на мировом рынках преобладают посреднические ЭТП B2B. Из прочих типов ЭТП B2B на мировом рынке доминируют площадки, контролируемые покупателями, а на российском рынке – контролируемые продавцами. Определены причины этого различия структуры рынков. Выявлено, что на мировом рынке большинство покупателей считают предпочтительными ЭТП продавцов. Далее проведено сравнение ЭТП продавцов в частности и собственных ЭТП в целом с посредническими площадками. В заключение сформирован прогноз дальнейшего развития структуры отечественного рынка электронных торговых площадок межфирменного взаимодействия.

Ключевые слова: электронные торговые площадки, ЭТП, цифровые платформы, B2B, цепочки ценности, межфирменная кооперация, закупки, электронная торговля, собственные ЭТП, посреднические ЭТП

Abstract

Electronic trade platforms (ETP) became one of the most important channels of e-commerce. Business-to-business (B2B) electronic trading platforms can significantly reduce transaction costs and increase the efficiency of intercompany value chain linkages. The global B2B electronic trade platform market size accounts for 65% of the B2B e-commerce market and shows a growth trend. It was revealed that both the domestic and global markets are dominated by intermediary B2B ETPs. Among other types of B2B electronic trade platforms, buyer-controlled platforms dominate the global market, while

seller-controlled platforms dominate the Russian market. The reasons for this difference in market structure were identified. It has been revealed that in the global market, most buyers consider sellers' ETPs preferred. Next, a comparison is made between sellers' ETPs in particular and captive ETPs in general with intermediary platforms. In conclusion, a forecast for the further development of the structure of the domestic market of electronic trade platforms for intercompany interactions was formed.

Keywords: electronic trade platforms, ETPs, digital platforms, B2B, value chains, intercompany cooperation, procurement, e-commerce, captive ETPs, intermediary ETPs

В современных условиях электронная торговля приобрела большое значение для организаций во всем мире [1]. Одним из важнейших каналов электронной коммерции являются электронные торговые площадки (ЭТП) [2]. ЭТП межфирменного взаимодействия (B2B) снижают временные и географические барьеры межфирменной кооперации, повышают эффективность и сокращают издержки трансакций [3].

Электронная торговая площадка – это цифровая платформа, обеспечивающая взаимодействие покупателей и продавцов [4]. В рамках цепочки ценности основной задачей ЭТП является повышение эффективности межфирменных связей организаций, в том числе путем снижения трансакционных издержек.

Объем мирового рынка ЭТП B2B в 2024–2025 гг. составил 65% от общего объема рынка электронной торговли B2B. Поскольку объем мирового рынка электронной торговли B2B в 2025 году оценивается в 30,1 трлн $, объем рынка ЭТП B2B составляет 19,6 трлн $ (рис. 1).

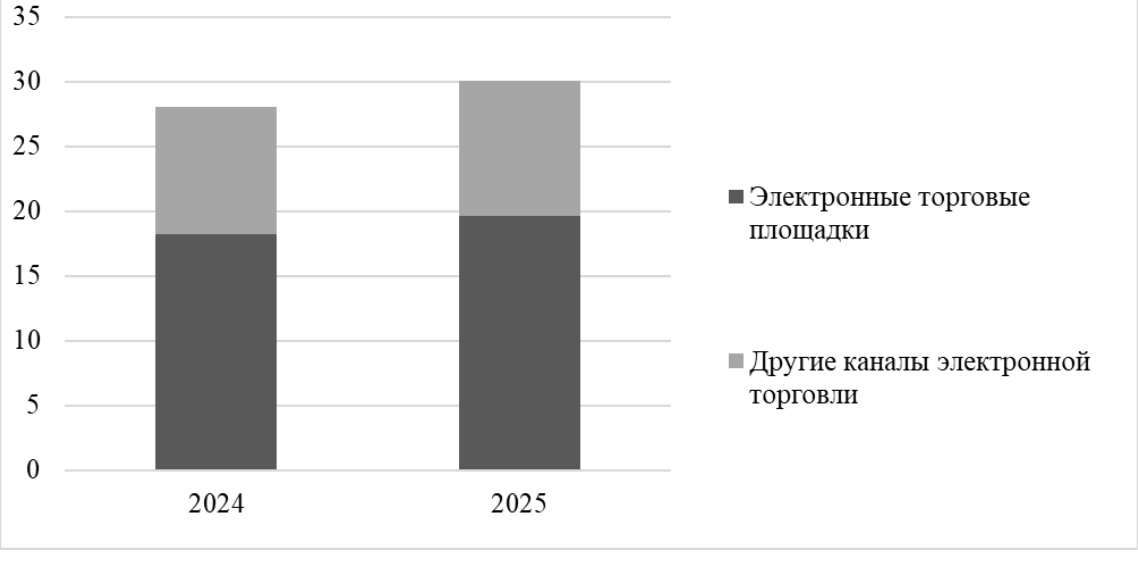


Рис. 1. Объем мирового рынка электронной торговли B2B, трлн $

Источник: составлено авторами по данным Statista и Mordor Intelligence [5–7].

Рассмотрим распределение информационных систем (ИС) электронной торговли B2B по месту, занимаемому ими в цепочке ценности. На 2025 год 61% данных информационных систем являются контролируемыми посредником, 30% – контролируемыми продавцом и 9% – контролируемыми покупателем (рис. 2) [8]. Сопоставим это с аналогичным распределением электронных торговых площадок российского рынка B2B, выявленным в предыдущей работе авторов (рис. 3). Стоит отметить, что в исследовании мирового рынка ИС от Grand View Research рассматривались лишь три чистых типа ИС: контролируемые покупателем, продавцом и посредником, в то время как в работе авторов по российским ЭТП также рассматривались смешанные типы.

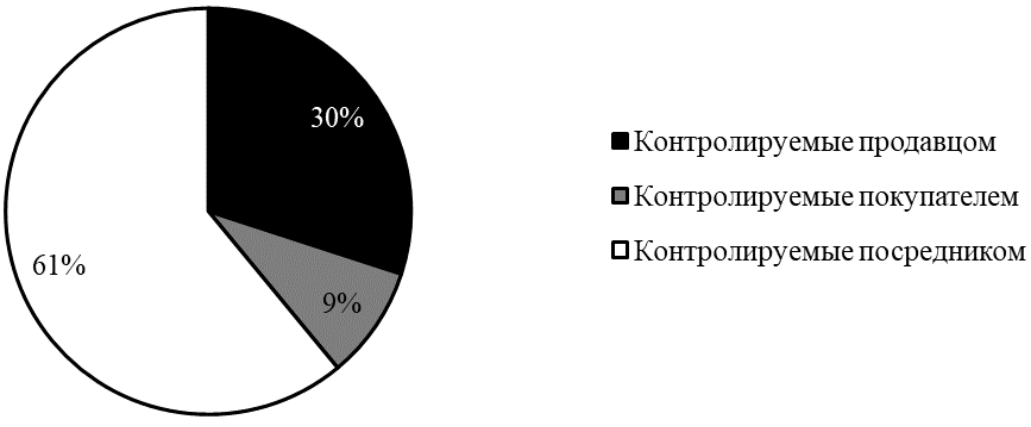


Рис. 2. Распределение ИС электронной торговли B2B мирового рынка по месту, занимаемому ими в цепочке ценности

Источник: составлено авторами по данным Grand View Research [8].

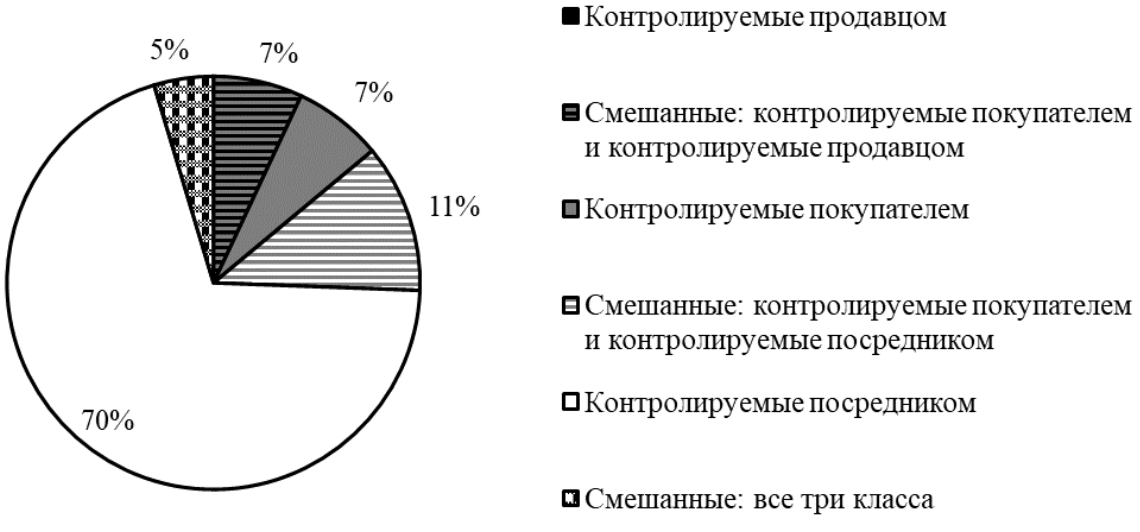


Рис. 3. Распределение российских ЭТП B2B по месту, занимаемому ими в цепочке ценности

Источник: составлено авторами в предыдущей статье [9].

Видно, что в обоих случаях преобладают информационные системы, контролируемые посредником. Данная закономерность объясняется тем, что ключевым преимуществом собственных (кэптивных) электронных торговых площадок перед независимыми является возможность подстройки под уникальные особенности цепочки создания ценности организации, а также ее долгосрочных партнеров. В то же время, разработка площадки, подобным образом интегрированной в цепочку ценности, является сложной задачей и требует больших затрат. Это делает кэптивные ЭТП оправданными преимущественно лишь для крупных организаций [9]. Кроме того, крупные посреднические ЭТП имеют значительное конкурентное преимущество за счет сетевых эффектов, роль которых на рынках электронной торговли B2B менее велика, чем на аналогичных рынках B2C, но по-прежнему значительна.

Российский рынок ЭТП отличается существенной ролью ЭТП, контролируемых покупателем, и низким распространением площадок, контролируемых продавцом. В то же время, в рамках мирового рынка ИС электронной торговли B2B более высока роль ИС, контролируе-

мых продавцом. ИС, контролируемые покупателем, распространены в существенно меньшей степени, но все равно составляют почти 10% рынка.

Это обусловлено тем, что отечественная электронная торговля B2B исторически развивалась преимущественно от закупок, а не от продаж. Во-первых, стандарты и практики данного рынка сложились под сильным влиянием законодательства о регулируемых закупках. Во-вторых, организации, обязанные совершать закупки в соответствии с законом 223-ФЗ, то есть организации с государственным участием более 50%, субъекты естественных монополий, компании, осуществляющие регулируемые виды деятельности, а также некоторые другие типы организаций, сами по себе составляют значительную долю отечественного рынка электронной торговли B2B и российской экономики в целом [4].

Согласно проведенному в 2024 г. Boston Consulting Group опросу, большинство организаций рассматривают ЭТП производителей, то есть ЭТП, контролируемые продавцом, как более предпочтительные для проведения закупок в сравнении с ЭТП общего назначения (рис. 4).

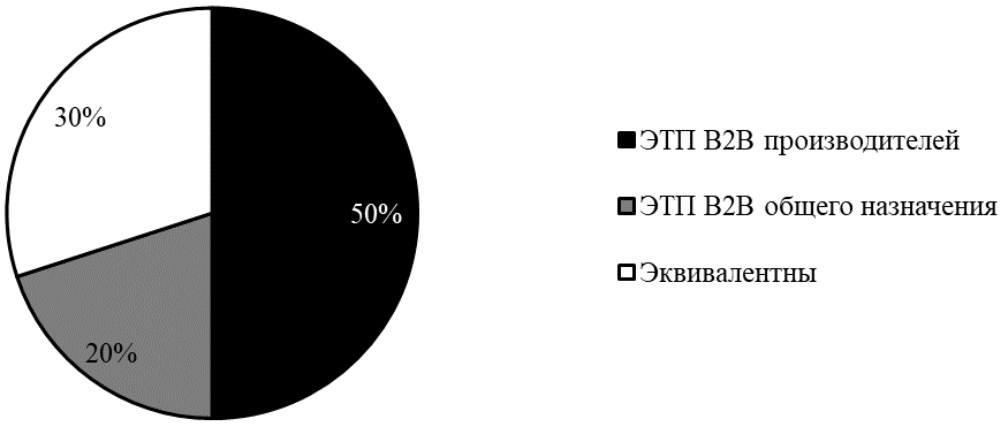


Рис. 4. Предпочитаемые организациями для проведения закупок типы ЭТП, 2024

Источник: составлено авторами по данным опроса Boston Consulting Group [10].

Стоит отметить, что на практике выбор, на ЭТП какого класса осуществлять закупку, есть не всегда. Далеко не все производители имеют собственные ЭТП, в том числе поскольку их создание и поддержка требуют заметных затрат, и они далеко не всегда являются рентабельными, особенно для малых и средних организаций. Также некоторые производители не представлены на посреднических ЭТП, однако в настоящее время это скорее является исключением. Это вызвано тем, что в условиях высокой конкуренции важное значение приобрел охват как можно большего спектра каналов продаж, то есть так называемая омниканальность [11].

ЭТП производителей позволяют с высокой эффективностью проводить закупки у единственного поставщика. Поскольку конкурентные процедуры по своей сути организуются и проводятся покупателем, роль таких ЭТП в рамках конкурентных закупок преимущественно сводится к своего рода витрине, которую покупатель может использовать для предварительной оценки продукции компании с целью принятия решения об отправке приглашения на участие в конкурентной процедуре.

Электронные торговые площадки, контролируемые покупателями, дают возможность с высокой эффективностью осуществлять конкурентные закупки. Аналогично, в рамках закупок у единственного поставщика возможная роль таких ЭТП является достаточно ограниченной.

Посреднические ЭТП дают возможность эффективного проведения как конкурентных закупок, так и закупок у единственного поставщика. Некоторые ЭТП специализируются на за-

купках одного из этих двух классов, многие площадки включают в себя возможность проведения закупок обоих классов. Таким образом, посреднические ЭТП являются универсальными и, кроме всего прочего, способны эффективно дополнять кэптивные площадки как покупателей, так и продавцов.

Одним из важнейших преимуществ кэптивных ЭТП в сравнении с посредническими площадками является возможность их более полной интеграции с цепочкой ценности организации и ее партнеров. Кэптивные ЭТП разрабатываются фирмами в соответствии с уникальными особенностями их цепочек ценности. Исходя из этого, такие ЭТП способны существенно повышать эффективность цепочки ценности компании-владельца. Это может позволить владельцу ЭТП повысить эффективность взаимодействия как для себя, так и для своих контрагентов.

Кроме того, кэптивные ЭТП позволяют реализовать эффективную координацию межфирменных связей цепочек ценности продавца и покупателя. При этом реализация подобной координации обычно оправдана только в случае стабильных, долгосрочных партнерских отношений, поскольку требует дополнительных затрат. В то же время, посреднические площадки не дают такой возможности.

При закупках у единственного поставщика посреднические ЭТП предоставляют возможность поиска и сравнения предложений большого количества продавцов с низкими трансакционными издержками. Это дает возможность организации оперативно находить подходящих контрагентов. Кроме того, крупные универсальные ЭТП, контролируемые посредником, включают в себя продавцов, предлагающих широкий спектр продукции, и потенциально позволяют удовлетворить значительную часть потребностей организации на одной площадке. По этой причине такие ЭТП являются особенно удобными для небольших организаций, поскольку одновременное использование большого количества различных ЭТП само по себе требует дополнительных ресурсов. Также стоит отметить, что посреднические ЭТП эффективны для проведения первичного поиска предложений, после чего покупатель может перейти на собственную ЭТП выбранного продавца при наличии таковой.

ЭТП производителей имеют особенно высокую актуальность при закупках продукции с сильной дифференциацией, и в особенности продукции, сфокусированной на удовлетворении потребностей узкого сегмента. В этом случае круг производителей, предлагающих оптимальную для покупателя продукцию, относительно ограничен и в целом известен. Аналогично, в случаях, когда решение, продукцию какого именно производителя закупать, по тем или иным причинам уже принято, использование кэптивной ЭТП производителя имеет существенное число преимуществ. Также стоит отметить, что при выборе высокодифференцированной продукции основное значение имеют ее свойства и характеристики, для оценки которых ЭТП производителей предоставляют более полную информацию. Важное значение имеет прямое взаимодействие покупателя и продавца, особенно в случае технически сложной продукции, где важную роль играет послепродажное обслуживание и информационное сопровождение.

Посреднические ЭТП имеют преимущество при закупках слабо дифференцированной продукции, где конкуренция между продавцами является в большей степени ценовой, а также в случаях, когда различия между продуктами сводятся к четко определенным и легко сравнимым характеристикам. Это обусловлено тем, что такие площадки дают возможность с низкими трансакционными издержками сравнивать текущие предложения большого числа поставщиков с целью выбора среди них оптимального. Кроме того, в случае стандартной, слабо дифференцированной продукции меньшее значение имеет кооперация с конкретным поставщиком, существует возможность гибкой замены поставщиков, что может быть эффективно реализовано с помощью посреднической ЭТП.

На российском рынке электронных торговых площадок B2B актуально и наиболее вероятно развитие ЭТП производителей. При этом рост доли данных ЭТП будет происходить

преимущественно за счет снижения доли ЭТП, контролируемых покупателем. В то же время, посреднические площадки продолжат занимать наибольшую долю рынка.

Регулируемые закупки значительно ускорили формирование и становление отечественного рынка электронной торговли B2B. К настоящему времени данный рынок достиг существенного уровня зрелости, и назрела потребность поиска им самостоятельного пути развития. Это необходимо для того, чтобы практики, методы и инфраструктура рынка наилучшим образом соответствовали нуждам его участников [4, 12].

В частности, является необходимым отход рынка B2B от чрезмерной ориентации на конкурентные закупки. Они совершенно необходимы в рамках госзакупок для контроля, прозрачности и повышения эффективности расходования денежных средств. В случае же частных организаций конкурентные закупки являются лишь одним из инструментов, во многих случаях полезным, но часто избыточным и ведущим к излишним трансакционным издержкам. Необходимо развитие инфраструктуры для эффективного проведения закупок у единственного поставщика, что в том числе приведет к развитию ЭТП производителей.

Необходимым элементом дальнейшего экономического развития России является развитие наукоемких производств. При этом, как сказано выше, ЭТП производителей имеют высокую актуальность при закупках технически сложной и высоко дифференцированной продукции.

Посреднические электронные торговые площадки сохранят на отечественном рынке преобладающее положение. Это обусловлено тем, что они являются универсальными с точки зрения закупаемой продукции и методов закупок, дают возможность поиска и сравнения предложений большого количества потенциальных контрагентов с низкими трансакционными издержками, и позволяют с высокой эффективностью динамически перестраивать цепочку ценности организации под изменяющиеся условия внешней и внутренней среды организации. Кроме того, они получают существенное конкурентное преимущество благодаря сетевым эффектам, роль которых на рынках электронной торговли B2B является существенной, хотя и меньшей, чем в случае соответствующих рынков B2C.

Список литературы

1. Castro-Schez J.J., Grande R., Herrera V., Schez-Sobrino S., Vallejo D., Albusac J. E-Marketplace State of the Art and Trends: VR-ZOCO – An Architectural Proposal for the Future // Applied System Innovation. – 2024. – Vol. 5. – DOI 10.3390/asi7050076.

2. Chong W.K., Shafaghi M., Woollaston C., Lui V. B2B e-marketplace: an e-marketing framework for B2B commerce // Marketing Intelligence & Planning. – 2010. – Vol. 3. – P. 310–329. – DOI 10.1108/02634501011041444.

3. Li W., Zhang Y., Dan B., Zhang X., Sui R. Simulation Modeling and Analysis on the Value-Added Service of the Third-Party E-Commerce Platform Supporting Multi-Value Chain Collaboration // Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research. – 2024. – 19(2). – P. 846–862. – DOI 10.3390/jtaer19020044. – EDN IBOUHI.

4. Сафиуллин М.Р., Гурьянов А.И. Влияние сферы регулируемых закупок на формирование российского рынка электронных торговых площадок B2B // Научные труды Центра перспективных экономических исследований. – 2026. – № 30.

5. B2B E-Commerce – In-Depth Market Insights & Data Analysis // Statista. – 2026. – URL: https://www.statista.com/study/44442/in-depth-report-b2b-e-commerce/ (дата обращения 12.07.2026).

6. B2B E-Commerce Market Size & Share Analysis -– Growth Trends and Forecast // Mordor Intelligence. – 2026. – URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-b2b-ecommerce-market (дата обращения 12.07.2026).

7. Global B2B E-Commerce Market Size & Share Analysis -– Growth Trends and Forecast // Mordor Intelligence. – 2025. – URL: https://web.archive.org/web/20251226004909/https://

www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-b2b-ecommerce-market (дата обращения 12.07.2026).

8. Business-to-Business E-Commerce Market // Grand View Research. – 2026. – URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/business-to-business-b2b-e-commerce-market (дата обращения 12.07.2026).

9. Сафиуллин М.Р., Гурьянов А.И. Место электронных торговых площадок в цепочках ценности организаций // Инновации и инвестиции. – 2026. – № 2. – С. 160–163. – EDN PVBECA.

10. Tawfik K., Jain T., Harcourt A., Isaeva Y. How B2B Marketplaces Are Rewriting the Rules of Trade // Boston Consulting Group. – 2024. – URL: https://www.bcg.com/publications/2024/how-b2b-marketplaces-are-rewriting-rules-of-trade (дата обращения 14.07.2026).

11. Gerea C., Gonzalez-Lopez F., Herskovic V. Omnichannel Customer Experience and Management: An Integrative Review and Research Agenda // Sustainability. – 2021. – Vol. 5. – DOI 10.3390/su13052825.

12. Изотова А.Г., Афонина Е.Н. Барьеры вхождения частного бизнеса на электронные торговые площадки // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2025. – № 4. – С. 257–269. – DOI 10.26118/2782-4586.2025.82.19.036. – EDN VTNZOA.

УДК 339.138

IMPROVING CONSUMER ENGAGEMENT THROUGH DIGITAL ENTERPRISE MARKETING TOOLS

Sakhbieva A.I., candidate of economic sciences, associate professor, Department of financial markets and financial institutions, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Master's student at the Financial University under the Government of the Russia, Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0001-8609-5191;
E-mail: aminasmile@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ПОСРЕДСТВОМ ИНСТРУМЕНТОВ ЦИФРОВОГО МАРКЕТИНГА

Сахбиева А.И., к.э.н., доцент кафедры финансовых рынков и финансовых институтов Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, магистрант Финансового университета при Правительстве, г. Москва, Россия;
ORCID: 0000-0001-8609-5191;
E-mail: aminasmile@mail.ru

Abstract

The article examines the transformation of enterprise–consumer interaction under the influence of digital marketing tools. The relevance of the study is determined by the increasing intensity of digital consumption, the expansion of e-commerce, changes in the ways consumers search for goods and services, and the growing use of social media, artificial intelligence, and personalized communications. The purpose of the study is to systematize modern digital marketing tools and identify directions for their application to improve the quality, continuity, and effectiveness of enterprise interaction with consumers. The study shows that the effectiveness of digital marketing in the current environment depends not on the number of communication channels used but on the degree of their integration

into a unified customer journey, the enterprise's ability to accumulate and analyze customer data, personalize communications, and maintain two-way interaction at different stages of the purchasing decision process. Four functional groups of digital marketing tools are identified: customer acquisition and search tools, engagement and interaction tools, personalization and retention tools, and integration and analytics tools. The results of international and Russian studies demonstrating changes in consumer behavior and the increasing importance of seamless customer experience are summarized. A model of digital enterprise–consumer interaction is proposed, which involves a consistent transition from data collection and analytics to personalized influence, omnichannel communication, feedback evaluation, and further adjustment of marketing activities. It is concluded that the key direction for improving marketing activities is a transition from managing separate digital channels to managing an integrated, data-driven customer experience.

Keywords: digital marketing, consumer, customer experience, personalization, omnichannel, social media, artificial intelligence, CRM, marketing communications, digital technologies

Аннотация

В статье исследуется трансформация взаимодействия предприятий с потребителями под влиянием инструментов цифрового маркетинга. Актуальность исследования обусловлена ростом интенсивности цифрового потребления, развитием электронной торговли, изменением способов поиска товаров и услуг, расширением использования социальных медиа, искусственного интеллекта и персонализированных коммуникаций. Цель исследования состоит в систематизации современных инструментов цифрового маркетинга и определении направлений их применения для повышения качества, непрерывности и результативности взаимодействия предприятия с потребителями. Показано, что эффективность цифрового маркетинга в современных условиях определяется не количеством используемых каналов, а степенью их интеграции в единый клиентский путь, возможностью предприятия накапливать и анализировать данные, персонализировать коммуникации и поддерживать двустороннее взаимодействие на различных этапах принятия решения о покупке. На основе анализа выделены четыре функциональные группы инструментов: инструменты привлечения и поиска, взаимодействия и вовлечения, персонализации и удержания, а также интеграции и аналитики. Обобщены результаты мировых и российских исследований, характеризующие изменение потребительского поведения и возрастающую роль бесшовного клиентского опыта. Предложена модель цифрового взаимодействия предприятия с потребителем, основанная на последовательном переходе от сбора данных к аналитике, персонализированному воздействию, омниканальной коммуникации и оценке обратной связи. Сделан вывод о том, что основным направлением совершенствования маркетинговой деятельности становится переход от управления отдельными цифровыми каналами к управлению целостным клиентским опытом на основе данных.

Ключевые слова: цифровой маркетинг, потребитель, клиентский опыт, персонализация, омниканальность, социальные медиа, искусственный интеллект, CRM, маркетинговые коммуникации, цифровые технологии

Introduction

Digital transformation has changed not only the ways goods and services are promoted but also the very nature of the relationship between an enterprise and its consumers. While in the traditional model marketing communication was primarily based on the transmission of information from a company to its target audience, the digital environment has made interaction continuous, two-way, and measurable. Consumers are able to independently choose information channels, compare offers, study reviews, contact brands through social media and messengers, make purchases online, and publicly evaluate their experience. For an enterprise, this means that the customer must be supported not only at the moment of advertising contact but throughout almost the entire customer journey.

The scale of these changes is confirmed by statistical data. According to DataReportal estimates, by April 2026 the number of Internet users worldwide had reached 6.12 billion people, or 73.8% of the global population, while the number of social media user identities had reached 5.79 billion. At the same time, the digital environment is not limited to one dominant source of information: search engines remain a source of new brand discovery for 32.4% of Internet users, social media advertising for 30.1%, while artificial intelligence tools currently serve as a source of brand discovery for 14.8% of users [1]. This indicates that the digital customer journey is becoming increasingly multichannel, while new technologies are not yet replacing traditional digital tools but rather complementing them.

Russia is also characterized by a high level of digitalization. According to Digital 2026: The Russian Federation, by the end of 2025 the number of Internet users in the country amounted to approximately 136 million people, while Internet penetration reached 94.4%. The number of social media user identities was estimated at 106 million, corresponding to 73.7% of the population [2]. Consequently, for most enterprises digital channels are no longer an auxiliary element of marketing activities; in fact, they form the environment in which a significant share of company–consumer interactions takes place.

The growing role of digital communications is also reflected in the structure of the advertising market. According to the Association of Communication Agencies of Russia, the total Russian marketing communications market exceeded RUB 2.4 trillion in 2025, increasing by approximately 15% over the year. Advertising expenditure in Internet services reached RUB 510.1 billion, an increase of 9%, while the total volume of media advertising amounted to RUB 981.6 billion [3]. Thus, Internet services account for more than half of the measurable media advertising market, indicating a continuing redistribution of enterprises' marketing activities toward the digital environment.

At the same time, the role of digital platforms directly in the purchasing process is changing. According to Data Insight, in 2025 the Russian retail e-commerce market reached RUB 13.4 trillion, increasing by 19%. The number of orders amounted to 8.3 billion and grew by 24%. Marketplaces accounted for 81% of all orders and 62% of the total value of sales, while the share of e-commerce in Russian retail trade, excluding automobiles and fuel, reached 25.6%. In non-food retail, the share of e-commerce exceeded half of the market for the first time, reaching 52% [4].

Additional evidence of the depth of changes in consumer behavior is provided by Mediascope research. In February 2026, e-commerce services were used at least once a month by 82% of the Russian population aged 12 and older, while average daily reach reached 60%. The average user spent 29 minutes per day on e-commerce resources. At the same time, 78% of mobile users conducted search queries directly within e-commerce platforms: on average, each person made 43 searches across seven product categories and three search platforms per month. At the same time, the reach of artificial intelligence services reached 32% of the population aged 12 and older; among e-commerce users, 34% used neural network services [5]. Thus, marketplaces, social networks, search engines, messengers, and AI services are gradually transforming from separate tools into a system of interconnected customer touchpoints.

Under these conditions, the key issue is no longer the mere presence of an enterprise in the digital environment but the quality of its interaction with consumers. The separate use of a website, social media, advertising platforms, a CRM system, or a chatbot does not create an integrated customer experience. A consumer may begin searching for a product through a search engine, proceed to study reviews on a marketplace, encounter brand content on a social network, ask a question via a messenger, purchase the product through an application, and subsequently contact customer support. Inconsistent information, the need to repeatedly provide personal data, or substantial differences in terms across channels negatively affect the perception of the enterprise regardless of the quality of individual advertising campaigns.

The purpose of the study is to systematize digital marketing tools and identify the mechanisms through which they can be used to improve enterprise–consumer interaction. Unlike approaches in which digital tools are classified primarily according to the technical channel through which

information is disseminated, the present study considers them in terms of the functions they perform within the customer journey.

Research Methodology

The methodological basis of the study consists of systems and comparative approaches, grouping methods, structural and functional analysis, statistical observation, and generalization of research findings.

The empirical basis includes data from DataReportal, the Association of Communication Agencies of Russia, Data Insight, and Mediascope, international studies of consumer behavior and customer experience, as well as publications in scientific journals addressing omnichannel marketing, social media, and the use of artificial intelligence.

When assessing the significance of digital tools, five characteristics of enterprise–customer interaction were taken into account: accessibility of contact, relevance of the offer, possibility of two-way communication, continuity of the customer journey, and measurability of results. This approach makes it possible to evaluate digital marketing not only in terms of impressions, clicks, and website visits but also from the perspective of customer satisfaction, engagement, repeat purchases, and long-term customer value.

Main Part

The development of digital marketing is gradually changing the very object of marketing management. It is no longer an individual advertising campaign or even a specific digital channel, but rather a sequence of customer contacts with the enterprise. This approach is particularly important when a purchasing decision is distributed across several digital platforms.

The main indicators characterizing the scale of the digital environment for interaction with consumers are presented in Table 1.

Table 1

Main indicators of the development of the digital consumer interaction environment in 2025

Indicator	Value
Internet users worldwide	6.12 billion people
Global Internet penetration	73.8% of the population
Social media users worldwide	5.79 billion
Internet users in Russia	136 million people
Internet penetration in Russia	94.4% of the population
Social media users in Russia	106 million user identities
Volume of e-commerce in Russia	RUB 13.4 trillion
Number of online orders in Russia	8.3 billion
Monthly e-commerce reach in Russia	82% of the population aged 12+
Volume of advertising in Internet services in Russia	RUB 510.1 billion

Source: compiled by the author based on [1–5].

The data presented allow an important conclusion to be drawn: further improvements in the effectiveness of enterprise marketing activities can increasingly no longer be achieved simply by expanding the number of digital channels. The Russian Internet market already has a high level of audience coverage, while e-commerce is entering a more mature stage. In 2025, although the growth rate of online orders remained high, it declined to 24%, which Data Insight describes as the lowest level over the previous eight years [4]. Therefore, the principal source of further improvement is not merely

attracting new users to the digital environment but also improving the quality of their interaction with the enterprise.

From this perspective, digital marketing tools can be grouped into four interrelated blocks. The first ensures enterprise discovery and customer acquisition: search engine optimization, contextual and targeted advertising, and marketplace presence. The second provides direct interaction and engagement through social media, content, online reviews, messengers, and interactive formats. The third ensures personalization and customer retention through CRM systems, loyalty programs, e-mail, push communications, recommendation algorithms, and artificial intelligence tools. The fourth integrates these solutions through analytics, CDP platforms, end-to-end attribution, and omnichannel customer journey management. The characteristics of these groups are presented in Table 2.

Table 2

Digital marketing tools and their role in enterprise–consumer interaction

№	Digital Marketing Tools	Role in Enterprise–Consumer Interaction
1	SEO, contextual and targeted advertising, retail media, marketplaces	Facilitate customer acquisition, increase the accessibility of information about goods and services, and shorten the path from the emergence of a need to awareness of the enterprise's offer. Effectiveness is assessed using reach, CTR, CPC, CPA, and conversion indicators.
2	Social media, content marketing, messengers, reviews, and user-generated content	Facilitate the transition from one-way advertising communication to continuous dialogue with consumers, increase engagement, and enable companies to receive feedback quickly. Key indicators include engagement rate, number of inquiries, comments, reviews, and their sentiment.
3	CRM systems, CDP, e-mail and push communications, loyalty programs, recommendation systems, chatbots	Enable personalized interaction based on customer characteristics and previous behavior, stimulate repeat purchases, and increase retention. Performance can be assessed through LTV, repeat purchase frequency, churn rate, and response to personalized offers.
4	Web analytics, end-to-end analytics, artificial intelligence, machine learning, omnichannel platforms	Integrate information from different channels, analyze the customer journey, and ensure consistency of enterprise communications. They make it possible to assess ROAS, CAC, cross-channel conversion, satisfaction, and customer experience.

Source: compiled by the author.

The data in Table 2 show that digital marketing tools perform different but interconnected functions, ranging from customer acquisition to personalization and analytics. The greatest effect is achieved through their integrated use, when individual channels are combined into a unified system of interaction with consumers.

1. Search tools and changes at the beginning of the customer journey

Despite the rapid development of social platforms and artificial intelligence, search technologies retain their key importance. International data show that search engines remain the most common source through which users discover new brands [1]. However, the structure of search itself is changing.

In Russia, a significant share of product-related searches is shifting directly into the e-commerce environment. If a user begins a search not on the manufacturer's website or even through a general-purpose search engine, but on a marketplace, the enterprise faces a different competitive environment.

Positions in internal search results, the quality of product cards, ratings, reviews, completeness of product characteristics, and seller response time become increasingly important.

2. Social media as an environment for continuous interaction

The fundamental difference between social media and traditional advertising lies in the consumer's ability to respond publicly. Users are able not only to see an enterprise's message but also to comment on it, share it, evaluate it, add their own experience, or enter into discussion with other customers. As a result, the enterprise partially loses its monopoly over the formation of the brand's informational image, while electronic communication becomes jointly created by the company and its audience.

Study by V. Kulikovskaja, M. Hubert, K. G. Grunert, and H. Zhao, based on an online survey and a field study of social media user behavior, demonstrated that the relationship between content type and marketing outcomes is mediated by consumer engagement. The strongest positive effect was demonstrated by relationship-oriented content, whereas exclusively promotional messages did not produce a comparable result [10]. Consequently, the effectiveness of social media cannot be reduced to publication frequency or advertising reach; creating opportunities for meaningful interaction becomes more important.

For an enterprise, this implies a need to shift emphasis from the logic of "showing an advertising message" to the logic of "receiving and continuing a response." Comments, questions, user-generated content, and reviews become not merely secondary effects of a campaign but an integral part of marketing activities themselves. The speed of response to negative experiences becomes particularly important: a digital complaint from an individual customer simultaneously serves as a public signal to potential customers.

3. CRM, customer data, and personalization

The next stage in the development of interaction is associated with the transition from mass communication to communication based on data about a specific consumer. A modern CRM system no longer serves only as a repository of contact information; it becomes part of the customer experience management infrastructure. Purchase history, frequency of contact, response to messages, preferred channel, and behavior on the website and in the application can be used to determine the enterprise's next most relevant action.

The importance of personalization is confirmed by international studies. According to McKinsey, 71% of surveyed consumers expect personalized interactions with companies, while 76% become frustrated when such personalization does not occur. Faster-growing companies generate 40% more revenue from personalization than their slower-growing competitors [8]. In this case, personalization includes not only individualized advertising but also recommendations, convenient continuation of previously initiated actions, timely offers, and consideration of the customer's accumulated experience.

At the same time, companies' capabilities still lag considerably behind audience expectations. The Adobe 2025 AI and Digital Trends study indicates that 71% of consumers consider a brand's ability to anticipate their needs important or critically important, while 78% expect a seamless experience across all touchpoints. However, only 34% believe that companies actually provide them with timely and relevant offers and communications [7]. This reveals a gap between the technological availability of personalization and the actual quality of its implementation.

Therefore, improving marketing activities requires not so much an increase in the amount of customer data as its integration. If data from the website, mobile application, loyalty program, call center, and offline sales exist in isolation, an enterprise may send inconsistent offers to the same person or advertise a product that has already been purchased. Such communication is technically digital but is not perceived by consumers as personalized.

4. Artificial Intelligence in digital interaction

Artificial intelligence expands the capabilities of digital marketing in several areas simultaneously: behavioral forecasting, recommendation personalization, content creation and adaptation, inquiry processing, audience segmentation, and automated offer testing. At the same time,

its role should be viewed not as an independent marketing channel but as a technological layer that enhances other tools.

A systematic review by L. D. Hollebeek and co-authors covered 89 studies of consumer interaction with artificial intelligence technologies. The authors identified three consistent effects: improving the accuracy of service delivery, contributing to the creation of value perceived by consumers, and reducing the effort required from customers to complete a task [9]. The latter factor is particularly important for marketing interaction: competitive advantage may result not from demonstrating an innovative technology itself, but from reducing the number of actions that consumers have to perform.

Russian data also indicate relatively rapid adoption of artificial intelligence by users. In February 2026, artificial intelligence services were used at least once a month by 32% of Russians aged 12 and older, while among users aged 18–24 the figure reached 54%. AI users who were also e-commerce users made approximately one-third more search queries within online retail than those who did not use neural network services [5]. This suggests that AI is gradually becoming an additional element of information behavior preceding a purchase.

However, automation should not result in complete depersonalization of relationships. A chatbot is effective for standardized requests, but in complex situations customers should be able to switch to a human employee. Generative content reduces time costs but does not eliminate the need to monitor whether a message is consistent with the company's positioning and audience needs. Therefore, a hybrid model appears to be the most promising, in which artificial intelligence is used for data processing and repetitive operations, while humans retain responsibility for non-standard decisions and relationship management.

5. Omnichannel interaction as a condition for an integrated customer experience

The omnichannel approach represents a qualitatively higher level of digital interaction compared with the simple simultaneous use of several channels. In a multichannel model, an enterprise may have a website, physical store, application, and social media accounts, but each channel operates independently. In an omnichannel model, the customer's actions continue regardless of the touchpoint: information, interaction history, loyalty program terms, and offer content are coordinated across channels.

Russian studies also emphasize that the transition to omnichannel interaction is associated not only with the introduction of new services. E. V. Sukhostav identifies, among internal factors, the readiness of marketing channels for integration, availability of data on consumer actions, technological equipment, the condition of business processes, and the enterprise's resource capacity. Among external factors, consumer behavior patterns, technological development, competitors' actions, and product category characteristics are particularly important [6]. Therefore, omnichannel interaction is primarily a managerial task that requires coordination among marketing, sales, information technology, and customer service. A comparison of the main research findings is presented in Table 3.

Table 3

Research findings on digital interaction with consumers

№	Study	Main findings
1	DataReportal, 2026	Search engines and social media advertising remain among the main sources through which consumers discover new brands. At the same time, the role of artificial intelligence as an additional tool for searching for and obtaining information about goods and services is increasing.
2	Mediascope, 2026	In Russia, 82% of the population aged 12 and older use e-commerce services at least once a month. Among the mobile e-commerce audience, 78% of users conduct searches directly within trading platforms, confirming the increasing role of marketplaces in the customer journey.

Окончание табл. 3

№	Study	Main findings
3	Data Insight, 2026	The Russian e-commerce market reached RUB 13.4 trillion in 2025, while the number of orders amounted to 8.3 billion. Marketplaces accounted for 81% of all online orders, indicating a high concentration of enterprise–consumer interactions on digital trading platforms.
4	Adobe, 2025	78% of consumers expect seamless interaction with companies across all touchpoints, but only 34% believe that companies provide timely and relevant offers. This indicates a continuing gap between customer expectations and the actual level of personalization.
5	McKinsey & Company, 2021	71% of consumers expect personalized interactions with companies, while 76% become dissatisfied when personalization is absent. Personalization is regarded as an important factor in increasing interaction value and marketing effectiveness.
6	Hollebeek L. D. et al., 2024	A systematic review of 89 studies showed that the use of artificial intelligence can improve service accuracy, create additional value for consumers, and reduce the effort required from customers.
7	Kulikovskaja V. et al., 2023	Consumer engagement in social media has a significant impact on word-of-mouth and loyalty formation. The strongest effect is generated by content focused on developing relationships with the audience.

Source: compiled by the author based on [1, 4, 5, 7–10].

The findings of the studies presented above demonstrate that the development of digital tools is accompanied by changes in the criteria used to evaluate marketing effectiveness. Reach remains important at the customer acquisition stage; however, subsequent interaction requires other indicators, including the relevance of contact, duration of relationships, frequency of repeat purchases, satisfaction, willingness to recommend the brand, and customer value throughout the entire period of interaction.

On this basis, a model of digital interaction between an enterprise and a consumer can be proposed. Its fundamental difference from a linear advertising impact model lies in the presence of continuous feedback. The proposed sequence is presented on Figure 1.

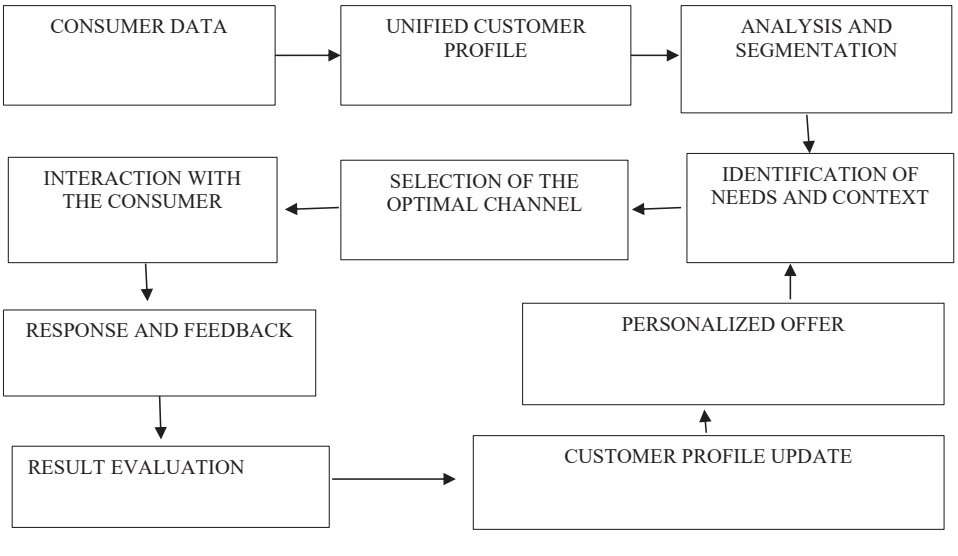


Fig. 1. Model of digital interaction between an enterprise and a consumer

Source: compiled by the author.

In this model, data are not regarded as the final result of digitalization. Their value is realized only when they are used to modify the next contact with the customer. For example, the absence of a response to an advertising message should influence the future frequency or content of communication; a completed purchase should exclude irrelevant offers; and an inquiry to customer support should be taken into account in subsequent marketing activities. Thus, digital interaction acquires a cyclical nature.

The practical implementation of the model requires a change in the enterprise's approach to evaluating marketing activities. At the acquisition stage, indicators such as reach, cost per contact, and conversion are appropriate. When developing relationships with an already known customer, priority should be given to the share of repeat purchases, churn, LTV, frequency of interaction, and response to personalized offers. For omnichannel interaction, customer effort indicators, inquiry resolution time, and the customer's ability to complete a process in another channel without restarting it become particularly important.

A separate challenge in digital marketing is the increasing information burden on consumers. The technical ability to send an additional message does not necessarily mean that such contact is appropriate. Excessively frequent push notifications, repetitive retargeting advertising, and superficially personalized messages may produce the opposite effect. Therefore, the number of communications should be determined not by the capabilities of the digital platform but by the likely usefulness of a particular contact to the user.

Another limitation is the dependence of enterprises on external digital platforms. The high share of marketplaces in Russian e-commerce allows businesses to gain rapid access to a large audience, but at the same time increases dependence on platform algorithms, advertising rates, and promotion rules. In the long term, enterprises should combine platform-based tools with the development of their own customer assets, including a CRM database, application, website, loyalty program, and direct communications. Otherwise, a significant share of customer information and control over interaction remains with the intermediary.

Conclusion

The study demonstrates that digital marketing is becoming one of the main mechanisms for organizing enterprise–consumer interaction. The widespread use of the Internet, e-commerce, and social media indicates that a significant part of the customer journey has shifted to the digital environment. In Russia, this process is particularly evident: Internet penetration exceeds 94%, e-commerce reaches the overwhelming majority of the Internet audience, and the Russian e-commerce market reached RUB 13.4 trillion in 2025.

At the same time, increasing the number of digital channels does not in itself guarantee improved marketing effectiveness. The results of international and Russian studies indicate that consumer expectations are increasingly shifting toward personalization, responsiveness, seamlessness, and consistency of interaction. Digital communication is gradually moving from a mass-impact model toward a customer experience management model.

The systematization carried out in this study made it possible to combine digital marketing tools into four functional groups: acquisition and search; engagement and dialogue; personalization and retention; integration and analytics. Their effectiveness increases when they are used jointly, since the result of one digital contact becomes the informational basis for the next.

Customer analytics and artificial intelligence will play a particularly important role in the further development of digital marketing. At the same time, technological automation should primarily be used to reduce customer effort, improve relevance, and increase the speed of interaction rather than being treated as an end in itself. Preserving the possibility of human interaction, ensuring data quality, and maintaining a reasonable frequency of contact are becoming important conditions for building consumer trust.

References

1. Kemp S. Digital 2026 Mid-Year Global Update Report // DataReportal. – 2026. – URL: datareportal.com/reports/digital-2026-mid-year-global-update-report (accessed: 21.08.2026). – Electronic text.
2. Kemp S. Digital 2026: The Russian Federation // DataReportal. – 2025. – URL: datareportal.com/reports/digital-2026-russian-federation (accessed: 21.08.2026). – Electronic text.
3. Association of Communication Agencies of Russia. The Volume of the Marketing Communications Market in 2025. – 2026. – URL: akarussia.ru/volumes/obem-rynka-marketingovyh-kommunikacij-v-2025-godu/ (accessed: 21.08.2026). – Electronic text.
4. Data Insight. E-commerce in Russia 2026: Marketing Research. – 2026. – URL: datainsight.ru/DI_eCommerce_2026 (accessed: 31.08.2026). – Electronic text.
5. Mediascope. Mediascope Group at Digital Brand Day 2026. – 2026. – URL: mediascope.net/news/3282172/ (accessed: 21.08.2026). – Electronic text.
6. Sukhostav E. V. Factors Influencing the Implementation of Omnichannel Marketing // Economics and Business: Theory and Practice. – 2024. – No. 9-2. – P. 127–129. – DOI 10.24412/2411-0450-2024-9-2-127-129.
7. Adobe. AI and Digital Trends in Content Creation and Management. – 2025. – URL: business.adobe.com/resources/reports/content-management-digital-trends.html (accessed: 21.08.2026). – Electronic text.
8. Arora N. The value of getting personalization right–or wrong–is multiplying / N. Arora, D. Ensslen, L. Fiedler, W. W. Liu, K. Robinson, E. Stein, G. Schüler // McKinsey & Company. – 2021. – URL: mckinsey.com/capabilities/growth-marketing-and-sales/our-insights/the-value-of-getting-personalization-right-or-wrong-is-multiplying (accessed: 21.08.2026). – Electronic text.
9. Hollebeek L. D. Engaging consumers through artificially intelligent technologies: Systematic review, conceptual model, and further research / L. D. Hollebeek, C. Menidjel, M. Sarstedt, J. Jansson, S. Urbonavicius // Psychology & Marketing. – 2024. – Vol. 41, No. 4. – P. 880–898. – DOI 10.1002/mar.21957.
10. Kulikovskaja V. Driving marketing outcomes through social media-based customer engagement / V. Kulikovskaja, M. Hubert, K. G. Grunert, H. Zhao // Journal of Retailing and Consumer Services. – 2023. – Vol. 74. – Article 103445. – DOI 10.1016/j.jretconser.2023.103445.

УДК 334.02

ЦИФРОВИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИЙ МАЛОГО БИЗНЕСА

Советов И.Н., к.э.н., доцент кафедры экономики Казанского филиала ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия им. В.М. Лебедева», Казанский филиал ФГБОУ ВО «РГУП им. В.М. Лебедева», г. Казань, Россия

DIGITALIZATION OF BUSINESS PROCESSES IN SMALL BUSINESSES

Sovetov I.N., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics at the Kazan Branch of the Russian State University of Justice named after V.M. Lebedev, Kazan Branch of the Russian State University of Justice named after V.M. Lebedev, Kazan, Russia

Аннотация

Цифровые инструменты заметно изменили бизнес-процессы компаний. Развитие автоматизации особенно актуально для малых предприятий в том числе при организации доку-

ментооборота, бухгалтерского учета, кадровой работы. Системы становятся точнее, быстрее обрабатывают документы и позволяют сокращать время на рутинные операции. Развиваются цифровые технологии и сервисы в бухгалтерском учете малых предприятий. В ближайшие годы такие решения будут всё активнее использоваться для обработки данных и подготовки отчетности.

Ключевые слова: цифровизация, бизнес-процессы, малый бизнес, цифровые технологии и сервисы, оценка

Abstract

Digital tools have significantly changed the business processes of companies. The development of automation is especially relevant for small enterprises, including in the organization of document management, accounting, and personnel work. Systems are becoming more accurate, processing documents faster, and reducing the time spent on routine operations. Digital technologies and services are being developed for the accounting of small enterprises. In the coming years, such solutions will be increasingly used for data processing and reporting.

Keywords: Digitalization, business processes, small businesses, digital technologies and services, and evaluation

Инновационные цифровые решения в настоящее время позволяют компаниям обеспечить совершенствование организации внутренних бизнес-процессов. Получаемое развитие бизнес-процессов обеспечивает достижение стратегических целей компании и адаптацию к рыночной среде [1].

Цифровизация бизнес-процессов становится следующим важным шагом их автоматизации, что в комплексе обеспечивает рост производительности и снижение операционных затрат. Она актуальна для кадровых процессов, договорной работы, складских операций и бухгалтерского учета.

Цифровизация процессов важна для многих компаний. Наличие в крупных компаниях сложных внутренних процессов накладывает отпечаток на формат цифровых изменений. Малому бизнесу для обеспечения своей конкурентоспособности и соразмерного развития также требуется цифровизация многих сфер деятельности, включая офисные (юридические, кадровые, бухгалтерские) процессы. Автоматизация бухгалтерии в компаниях малого бизнеса охватывает в первую очередь те задачи, которые занимают много времени, а штаты сильно ограничены: автоматическое формирование первичных документов (счета-фактуры, накладные, акты), работа с банковскими операциями, подготовка отчетности. Основная проблема организации документооборота в маленькой компании, даже с учетом автоматизации, заключается в том, что многочисленные документы поступают из разных источников (почта, факс, курьер, электронная почта, мессенджеры) [2]. Бумажные документы нужно внести во внутреннюю электронную базу, оцифровывать вручную, организовать их движение, а затем и хранение.

Автоматизация учетных операций в небольшой компании обычно начинается с создания электронной отчетности. Затем появляется потребность отказа от бумажной первичной документации. В связи с чем, решаются задачи интеграции с операторами электронного документооборота. Далее начинается поиск комплексных подходов по документообороту, учитывающей особенности каждого этапа всего цикла заключения договора (подготовка к торгам, согласование и заключение договора, получение актов выполненных работ (услуг)). Одновременно организуется процесс по созданию внутренних формализованных документов, которые улучшат деятельность офиса и рационализации самих процессов (процесса согласования документов, их движения, маркировки, связи с другими документами).

Еще одно направление автоматизации учета в малых предприятиях связано с созданием общих архивов документов, необходимых для управленческого учета и налоговой отчетности. Важно обеспечить хранение и быстрый доступ к электронным документам, скан-копиям бумажных документов, и всей истории каждой сделки.

Дальнейшее развитие и совершенствование управления бизнес-процессами на основе его автоматизация требует внедрения использования различных интеллектуальных помощников. В офисе предприятия малого бизнеса актуальна важнейшая задача автоматического распознавания текстовых и формализованных документов (УПД, договором, листов согласования, спецификаций, заявок и коммерческих предложений). Сейчас распространяются технологии оптического распознавания символов и автоматизации бизнес-процессов с помощью программных роботов, которые помогают осуществлять простые и повторяющиеся операции по обработке документов: сравнивать наименование товаров, подбирать счета учета по хозяйственным операциям, распределять документы по видам, осуществлять расчеты. В такой системе первичные учетные документы обрабатываются практически без участия человека. Цифровые технологии позволяют контролировать все источники поступления документов, осуществлять обработку их разных форматов, формировать общую базу документов.

Внедрение цифровых инноваций в хозяйственную деятельность предприятий малого бизнес становится важным фактором их устойчивого развития и конкурентоспособности на рынке. Сейчас технологии начинают распространяться с большой скоростью, и малые компании, которые игнорируют инновации, очень рискуют. Само принятие и внедрение нововведений в традиционный бизнес требует глубокого понимания и стратегического подхода. Предприятия малого бизнеса проходят определенные стадии осознания и включение инновации в свою деятельность.

1. Понимание необходимости изменений как первый шаг к интеграции инноваций. Многие малые компании неохотно внедряют нововведения из-за страха перед неизвестным, ограниченности бюджета или относительной удовлетворенности текущим состоянием. Постепенно приходит понимание, что инновации могут значительно повысить эффективность деятельности, сократить потребление ресурсов и открыть новые возможности.

2. Анализ рыночной конъюнктуры и конкурентов. Для успешного внедрения инноваций важно провести тщательный анализ рынка и деятельности конкурентов. Это поможет определить, какие инновации уже применяются в данной сфере деятельности и какие из них могут быть наиболее эффективными. Понимание текущих тенденций помогает выбрать правильное направление для инноваций.

3. Создание и вовлечение команды. Инновационные процессы требуют активного участия и поддержки на всех уровнях предприятия: собственник – менеджмент – работник. Важно обеспечивать открытость к новым идеям, поощрять сотрудников к инновационному мышлению, вовлекать в инновационный процесс. После внедрения цифровых технологий бизнес-процессы становятся системными. Часть процессов параллельно оптимизируются, и у работников появляется время на решение творческих задач за счет сокращения рутинных обязанностей.

4. Обучение и развитие. Важным условием успешной интеграции инноваций является обучение и развитие сотрудников. Доступность новых знаний и технологий повышает уровень квалификации сотрудников, стимулирует к работе с инновационными решениями.

5. Пробные проекты. Прежде чем активно внедрять цифровые нововведения в весь бизнес, обычно начинают с базовых проектов. Это позволяет отработать полностью весь бизнес-процесс, оценить эффективность в реальных условиях, приспособить нововведения под специфику бизнеса и учесть возможные риски. В компании важно решить приоритетность совершенствования бизнес-процессов. Самыми приоритетными бизнес-процессами в малом

бизнесе часто являются сфера делопроизводства и договорная работа. Начинается внедрение цифровых технологий в избранные бизнес-процессы, после которого малый бизнес оценивает необходимость дальнейшей цифровизации.

6. Партнерство и сотрудничество. Сотрудничество с другими хозяйствующими субъектами, контрагентами позволит ускорить процесс интеграции инноваций. Существующие стартапы, научно-исследовательские институты и передовые компании, помогут обеспечить доступность новых технологий, знаний и ресурсов, а также разделить и снизить риски и затраты на разработку и внедрение инноваций.

7. Мониторинг инноваций. Постоянный мониторинг, контроль и оценка внедрения инноваций выполняют важную роль при цифровизации бизнес-процессов и становятся составной частью процесса их внедрения и позволяют определить степень эффективности нововведений и своевременно осуществлять изменения.

Выбор и внедрение инновационных решений в компаниях малого бизнеса в настоящее время определяется наличием значимого эффекта: есть ли прирост выручки и прибыли или создается базис для будущего развития. В практике работы предприятий малого бизнеса внедрение цифровых инновационных технологий затрагивает бизнес-процессы по договорной работе, бухгалтерии, кадровой работе.

Цифровизация договорной работы в небольшой компании, где все правовые аспекты деятельности выполняет один юрист, позволяет не только ускорить процессы, но и значительно повысит ее эффективность снизит риски ошибок. Такая обработка договора (составление, согласование, визирование) обеспечивает комплаенс бизнес-процесса регламентам компании. Цифровизация автоматически обеспечивает согласование разнообразных условий с учетом требований разных контрагентов, сохранение и сравнение вариантов, изменений, регистрацию и отправку документов, контроль исполнения.

Кадровая работа в малых предприятиях, являясь сложной, комплексной и трудоемкой деятельностью, часто выступает как дополнительная нагрузка юристу или бухгалтеру и выполняется одним работником. Основные кадровые процессы, базовые для цифровых технологий:

– поиск и прием сотрудников;
– планирование графиков работ;
– подготовка и оформление командировок;
– перемещение и увольнение сотрудников;
– ознакомление с приказами и внутренними нормативными актами;
– аттестация и обучение работников.

Цифровые технологии приоритетны в подборе резюме, формировании приказов, учете рабочего времени, составлении графика отпусков.

Сегодня для решения задач бухгалтерского учета малых предприятий распространяются процессы оцифровки и распознавания бумажных документов, создания маршрутов и оптимизации бизнес-процессов, подписания и хранение файлов, организации взаимодействие с центральной системой учета создания единой базы для поиска и работы с цифровыми документами. Цифровизация создает инструмент, связанный со сканирующим оборудованием и подключенный к центральной системе учета и операторами электронного документооборота, позволяющий значительно ускорить бизнес-процессы учета, обмена документами и информацией.

Для оценки цифровизации на малом предприятии, после внедрения ее инструментов, оценивают результат [3, 4]. В показатели оценки процессов и операций включают:

– время выполнения задач – скорость обработки заказа, заключения договора или проектирования изделия;

– доля автоматизированных процессов – процент бизнес-задач, которые перешли с ручного управления на цифровые инструменты;

– скорость выхода проекта на рынок – время от идеи до запуска продукта или услуги;

– количество ошибок – снижение числа дефектов или ошибок, вызванных человеческим фактором, после внедрения цифровых помощников.

Финансовые и экономические показатели оценки результатов цифровизации:

– рентабельность инвестиций;

– снижение операционных затрат – экономия ресурсов (времени сотрудников, бумаги, энергопотребления);

– рост выручки – увеличение доходов или снижение себестоимости благодаря оптимизации;

– чистая приведённая стоимость – временная стоимость денег при оценке долгосрочных проектов.

Внедрение цифровых инструментов не снимает ответственность за достоверность финансовых с работников. Программные решения только облегчают обработку информации и формирование отчетности. Поэтому контроль автоматизации и цифровизации бизнес-процессов остается важным элементом работы. Алгоритмы, обрабатывая большие объемы данных, действуют в рамках заранее заданных правил. Эти алгоритмы и результаты работы программных решений требуют регулярной проверки со стороны специалистов. На практике эффективная работа строится на сочетании технологий и профессиональной экспертизы. Цифровизация ускоряет рутинные процессы, а специалисты обеспечивают корректность данных и принимают решения в ситуациях, которые невозможно полностью формализовать.

Внедрение цифровых инноваций в малый бизнес требует стратегического подхода, открытости к новым идеям и готовности к изменениям. Понимание целевой аудитории, активное вовлечение команды, обучение и развитие, пилотные проекты, партнерство и постоянный мониторинг – вот ключевые элементы успешной интеграции инноваций. Преодолевая страх перед неизвестным и принимая вызовы современного мира, компании могут обеспечить свое устойчивое развитие и конкурентоспособность на рынке.

Список литературы

1. Малый бизнес как локомотив экономики Татарстана. [Электронный ресурс]. – URL: https://tatcenter.ru/rubrics/monitor/msp-kak-lokomotiv-ekonomiki-tatarstana/. (дата обращения: 01.07.2026).

2. Лазарева О. С., Советов И. Н. Анализ тенденций развития малого и среднего бизнеса в Республике Татарстан и Оренбургской области. // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2025. – №11. – С. 39-42.

3. Погорельцев А. С., Салимьянова И. Г. Особенности оценки цифровой зрелости организаций // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2022. – №5-2 (137). – С. 118-125.

4. Румянцева М. А. Методы оценки эффективности внедрения цифровых технологий на предприятии. Экономика и парадигма нового времени. 2025. № 5, [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-effektivnosti-vnedreniya-tsifrovyh-tehnologiy-na-predpriyatii/viewer (дата обращения: 01.07.2026).

УДК 338.45:658.5:629.33

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ИНДУСТРИЯ 4.0 – ИНСТРУМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОНОМИИ РОССИЙСКОГО АВТОПРОМА

Тимофеев Д.Ю., аспирант кафедры логистики и управления ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия;
E-mail: 777.timofeev@mail.ru

DIGITALIZATION AND INDUSTRY 4.0: TOOLS FOR THE TECHNOLOGICAL AUTONOMY OF THE RUSSIAN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Timofeev D.Yu., postgraduate student at the Department of Logistics and Management, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia;
E-mail: 777.timofeev@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы развития российского автопрома основу которого составили организация производства с использованием роботизированных комплексов, масштабное внедрение цифровых технологий и технологий искусственного интеллекта, обеспечивающих рост производительности труда, повышение качества выпускаемой продукции, развитие инновационной инфраструктуры на примере ПАО «КАМАЗ», компании, входящей в ТОП-15 ведущих производителей грузовых авто в РФ и СНГ. Анализ динамики рынка грузовых автомобилей полной массы более 14 тонн в периоде с 2019 по 2025 годы и места ПАО «КАМАЗ» в данном сегменте показал, что на развитие российского рынка тяжелых грузовых автомобилей в исследованном периоде оказали влияние пандемия 2020 года, мировой кризис полупроводников и дефицит компонентов сложной микроэлектроники 2021 года, уход с российского рынка западных брендов в 2022 году, бурный рост рынка грузовых автомобилей РФ за счет китайских производителей в 2023 году, активный разворот в сторону отечественного автопрома в 2024 году, резкое сокращение рынка тяжёлых грузовых автомобилей в 2025 году. Полученные уравнения полиномиальной регрессии показали отсутствие корреляции между показателями в исследуемом периоде, что внешнеэкономические катаклизмы оказывали влияние на динамику рынка грузовых автомобилей в РФ в форме рисковой непредсказуемости, однако динамика развития ПАО «КАМАЗ» оказалась прогнозируемой. По доле «КАМАЗ» в общем объеме рынка грузовых автомобилей в РФ, отмечено, что компания прочно занимает свою нишу, но для устойчивого ее сохранения компании следует совершенствовать модельный ряд грузовых авто в данном сегменте рынка, продолжить модернизацию грузовиков поколения К5, открывать новые производства как условие снижения зависимости от импорта. Результатом исследования стало заключение: активная цифровизация производственной системы, переход на отечественную PLM-систему программного обеспечения управления жизненным циклом продукции, станет гарантом безопасности, независимости и поддержки российского рынка автомобилестроения, как условие технологической автономии российского автопрома.

Ключевые слова: технологический суверенитет, автопром, модернизация, инструменты, цифровизация, индустрия 4.0, инновации, развитие, ПАО «КАМАЗ»

Abstract

The article examines the development of the Russian automotive industry, focusing on the organization of production using robotic systems and the large-scale implementation of digital and artificial intelligence technologies–measures that drive labor productivity growth, enhance product quality, and foster innovative infrastructure. This analysis uses the example of PJSC KAMAZ,

a company ranked among the top 15 leading truck manufacturers in the Russian Federation and the CIS. An analysis of market dynamics for trucks with a gross weight exceeding 14 tonnes from 2019 to 2025–and the position of PJSC KAMAZ within this segment–revealed that the Russian heavy-duty truck market was shaped by several factors during the period under review: the 2020 pandemic; the global semiconductor crisis and the shortage of complex microelectronic components in 2021; the exit of Western brands from the Russian market in 2022; the rapid expansion of the Russian truck market driven by Chinese manufacturers in 2023; a decisive shift toward the domestic automotive industry in 2024; and a sharp contraction of the heavy-duty truck market in 2025. The resulting polynomial regression equations revealed no correlation between the indicators during the study period; while external economic shocks impacted the dynamics of the Russian truck market by introducing unpredictable risks, the development trajectory of PJSC KAMAZ proved to be predictable. Regarding KAMAZ's share of the total Russian truck market, the company holds a solid position in its niche; however, to maintain this stability, it needs to enhance its truck model lineup in this segment, continue modernizing its K5-generation trucks, and establish new production facilities to reduce import dependency. The study concluded that the active digitalization of the production system–specifically the transition to a domestic PLM (Product Lifecycle Management) software system–will ensure the security, independence, and support of the Russian automotive market, serving as a prerequisite for the technological autonomy of the Russian automotive industry.

Keywords: technological sovereignty, automotive industry, modernization, tools, digitalization, Industry 4.0, innovation, development, PJSC KAMAZ

Технологический суверенитет и способы его достижения – одна из главных задач стратегического развития России, условие обеспечения ее технологической независимости при переходе к новому миропорядку. Согласно целевым индикаторам, прописанным в концепции технологического развития РФ до 2030 года, уровень инновационной активности в промышленности должен увеличиться в 2,3 раза. Доля высокотехнологичной продукции промышленного типа, произведённой непосредственно в России, в общем объёме российского потребления такой продукции должна достигнуть уровня 75%. Увеличение затрат на производство предусматривается с темпом не более чем в 1,5 раза. Число промышленных предприятий, разрабатывающих, внедряющих и использующих технологические инновации и новации любых видов должно увеличиться в 1,6 раза. Перечисленный ряд цифр представляют собой реперные точки обеспечения устойчивого функционирования и развития производственных систем в РФ. Достижение целевых индикаторов Концепции – путь к инновационно-ориентированному экономическому росту. [1]

Инновационно-ориентированный экономический рост – системный процесс глубокой трансформации экономики и общества на основе массового создания, внедрения и коммерциализации прорывных научных решений, цифровых технологий и передовых методов производства, ключевыми чертами которого является ряд параметров:

– во-первых, это системность и масштабность, поскольку происходящие изменения затронут всю национальную экономику от промышленности, сельского хозяйства до медицины и образования,

– во-вторых, это переход на роботизированные комплексы, искусственный интеллект и технологии работы с большими данными, обеспечивающих быстрый рост производительности труда,

– в-третьих, это развитие инновационной инфраструктуры [2].

Масштабное технологическое инновационное развитие имеет цели:

– повышение конкурентоспособности страны и бизнеса на мировом или внутреннем рынках;

– рациональное использование ресурсов и снижение экологической нагрузки через развитие «зеленых» технологий;

– повышение качества жизни населения путем улучшения стандартов медицины, комфорта и безопасности среды обитания.

Достижение индикаторов Концепции в обозначенные сроки становиться возможным благодаря активному развитию цифровизации и ключевых технологий Индустрии 4.0. Особое значение приобретают цифровизация и технологии Индустрии 4.0 в промышленном секторе экономики, поскольку именно в производственной сфере создаются материальные блага, обеспечивающие обществу удовлетворение базовых физиологических и экономических потребностей, создавая необходимый фундамент для выживания, жизнедеятельности и развития.

Геополитическая обстановка и ее последствия отразились во многих секторах промышленности, в которых произошел отток зарубежных компаний и капитала, что привело к масштабной перестройке рынков, сокращению присутствия западного бизнеса и ускоренному переходу на внутренние ресурсы. По данным исследования Центра стратегических разработок (ЦСР) самый глубокий спад среди всех отраслей промышленности России показал автопром, который аналитики ЦСР назвали худшей отраслью промышленности по итогам 2025 г. [3].

Сложившаяся пост санкционная ситуация потребовала от государства и бизнеса проведения глубоких качественных изменений и перестройки пропорций внутри экономической системы, ускоренного развития собственного производства комплектующих, программного обеспечения и оборудования.

В связи с изложенным, сегодня особый интерес представляют вопросы связанные со структурными сдвигами в автомобильном производстве, связанные с ускорением замещения ушедших западных марок, быстрой локализацией выпуска автокомпонентов и опережающим ростом в сегментах грузовой и специализированной техники на основе цифровизации и широкого использования технологий Индустрии 4.0, что актуализирует данное исследование, выполненное на примере флагмана отечественной автопрома – Публичное акционерное общество, производственная система «Камаз».

Сегодня «КАМАЗ» входит в ТОП-15 ведущих производителей грузовых авто в РФ и СНГ, является лидером рынка крупнотоннажных автомобилей, имеет сильные позиции на рынке среднетоннажных грузовиков России и на отечественном рынке автобусов в сегменте городских, пригородных и междугородных перевозок, обладает абсолютным лидерством на рынке электробусов России. ПО «КАМАЗ» имеет широкую линейку санкционно устойчивого модельного ряда продуктов, разветвлённую сеть дилерских и сервисных центров в РФ, инновационные разработки мирового уровня, к числу которых относится электротранспорт, газомоторная техника, высокоавтоматизированные грузовики, транспортные средства на водородных топливных элементах цифровые авто с искусственным интеллектом и другими параметрами цифровизации [4].

Рассмотрим сравнительную характеристику российского рынка крупнотоннажных автомобилей в динамике и место ПАО «КАМАЗ» в нем в периоде с 2019 по 2025 годы (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что российский рынок крупнотоннажных автомобилей претерпел последовательно следующие изменения:

– пандемия 2020 года привела к снижению емкости российского рынка грузовых автомобилей на 6,3%, однако не сказалась на рынке ПАО «КАМАЗ», благодаря его статусу системообразующего предприятия, оперативной адаптации к санитарным ограничениям и сохранению высокого спроса на свою продукцию со стороны государства и бизнеса (доля Камаз в общем объеме рынка грузовых автомобилей полной массой свыше 14 тонн РФ составлявшая в 2019 году 44,4% в 2020 году составила 47,4%);

– мировой кризис полупроводников 2021 года и дефицит компонентов сложной микроэлектроники не сказался на развитии российского рынка грузовых автомобилей, который к 2021 году вырос на 33,9%, а доля рынка грузовых авто ПАО «КАМАЗ» выросла на 25% за счет сборки классических моделей поколения К3 (самосвалы и тяжелые грузовики) с низким

содержанием электроники (доля Камаз в общем объеме рынка грузовых авто РФ в 2021 году составила 44,3%);

– 2022 год ознаменовался кризисом в связи с уходом с российского рынка западных брендов: рынок грузовых авто в РФ упал на 5,06%, рынок грузовых авто ПАО «КАМАЗ» на 8,6% (доля Камаз в общем объеме рынка грузовых автомобилей полной массой свыше 14 тонн РФ в 2022 году составила 42,7%);

– 2023 год отмечен бурным ростом рынка грузовых автомобилей РФ на 80% в большей степени за счет китайских производителей таких марок как Sitrak, Shacman, FAW, но для ПАО «КАМАЗ» рынок грузовых крупнотоннажных автомобилей продолжил свое снижение на 6,25% (доля Камаз в общем объеме рынка грузовых автомобилей РФ в 2023 году составила 22,2%);

– несмотря на активный разворот в сторону отечественного автопрома и экспансию китайских марок, который произошел в 2024 году, российский рынок крупнотоннажных автомобилей снизился на 17,8%, а рынок «КАМАЗ» продолжил снижение на 33,3% (доля Камаз в общем объеме российского рынка грузовых крупнотоннажных авто в 2024 году снизилась и составила 18,01%);

– в 2025 году рынок тяжёлых грузовых авто в РФ сократился на 48,6%, а рынок ПАО «КАМАЗ» снизился 0,05% (доля компании Камаз в общем объеме рынка крупнотоннажных авто РФ в 2025 году выросла и составила 33,3%) [5].

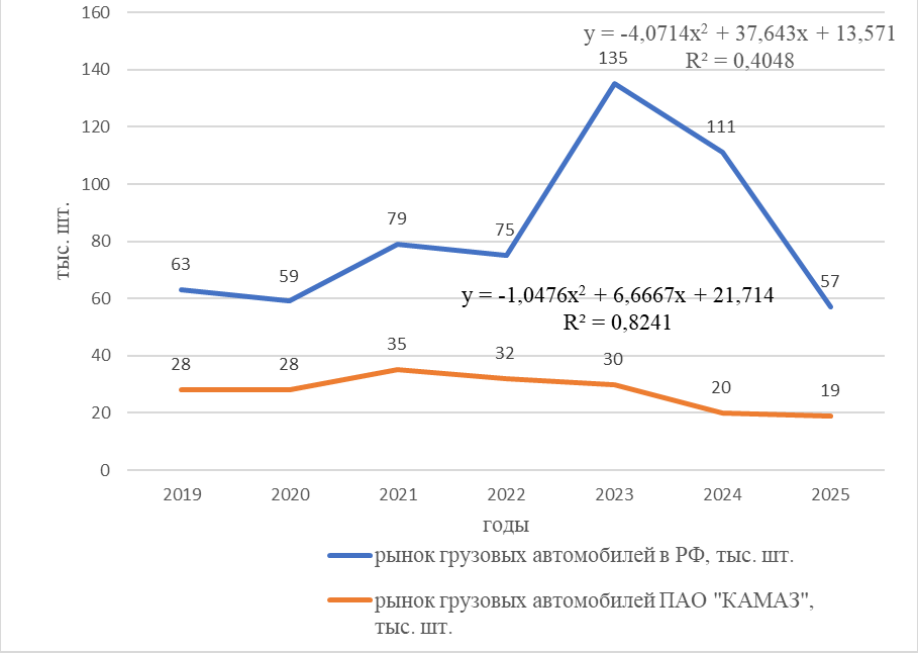


Рис. 1. Динамика российского рынка крупнотоннажных авто

Представленные на рис. 1 уравнения полиномиальной регрессии показывают, что нет однозначной связи между исследованными параметрами: коэффициент корреляции в регрессии равный 0,4048, указывает что происходившие в исследуемом периоде внешнеэкономические катаклизмы оказывали влияние на динамику рынка тяжёлых грузовых автомобилей в РФ, которые сложно прогнозировать. Относительно рынка тяжёлых грузовых автомобилей ПАО «КАМАЗ» можно сказать, что, согласно коэффициенту корреляции равного 0,8241, динамика прогнозируема, то есть рынок грузовых авто ПАО «КАМАЗ» может продолжать уменьшаться, если компания потеряет конкурентоспособность на данном сегменте рынка. Но обратимся к цифрам: доля рынка автомобилей грузового типа компании «КАМАЗ» в общем объеме рынка грузовых авто России в 2019 году составляла 44,4%, а к 2024 году снизилась до

18,01%. Тем не менее в 2025 году доля компании «КАМАЗ» вновь выросла и составила 33,3%. Данные говорят о том, что компания прочно занимает свою нишу на рынке грузовых автомобилей в РФ, но для обеспечения своих конкурентных преимуществ компании следует совершенствовать модельный ряд грузовых авто в данном сегменте рынка, например, продолжить модернизацию грузовиков поколения К5, в частности для них в Татарстане открылось новое производство мостов как условие снижения зависимости от импорта.

Цифровизация реального сектора промышленности в эпоху четвертой промышленной революции предполагает широкое развитие инновационной инфраструктуры на основе инструментов Индустрия 4.0. Цифровизация реального сектора промышленности представляет собой составную часть нового «умного» общества, в котором соединены технологии материального производства и цифровые инструменты Следует отметить, что темпы цифровизации зависят не столько от развития IT-технологий как таковых, сколько от потенциала и состояния базовых производственных технологий, от готовности производственной системы к внедрению инноваций [6].

ПАО «КАМАЗ» активно включен в инновации и инновационные разработки, так, например, компания в 2018 году в рамках масштабной программы цифровой трансформации и модернизации разработала производство тяжелых грузовиков принципиально нового поколения (платформа К5) – магистрального тягача КАМАЗ-54901, запуск которого потребовало сквозного цифрового проектирования.

«Цифровой КАМАЗ» является примером нового поколения авто грузового формата, оснащённого интегрированными цифровыми технологиями. Искусственный интеллект активно взаимодействует с инфраструктурой через интернет и специализированные сервисы, перечень которых с характеристикой и функционалом представлен в таблице 1.

Таблица 1

Цифровые сервисные платформы ПАО «КАМАЗ» [7]

Наименование	Характеристика	Функционал
ИТИС-KAMAZ	сервис спутникового мониторинга автомобилей	контроль местонахождения автомобиля, пробег, отклонения от маршрута, расход топлива, техническое состояние
Спецшеринг	сервис аренды спецтехники для бизнеса	готов предложить клиентам более 9 000 единиц свободной техники.
KAMAZ-MARKET	сервис онлайн-продаж автомобилей KAMAZ	450 компаний-партнеров по поставке техники, и производители дорожно-строительной техники
Челнок – экосистема	сервис цифровых решений: управление транспортом по требованию	микротранзит: пассажирские перевозки; Корпоративное такси; Легковой: заказы легкового транспорта; Карго: внутризаводская логистика и технологический транспорт; пригородная и междугородняя логистика
lk.kamaz.ru личный кабинет	сервис для получения любой информации об автомобиле	с 2022 года доступен функционал онлайн-записи в сервисные центры КАМАЗ (планирование ремонта и ТО)
Service Desk	многофункциональный сервис взаимодействия с дилерскими центрами	обратная связь производителя по сервисному обслуживанию и ремонту автомобиля

Окончание табл. 1

Наименование	Характеристика	Функционал
SIMBUS	сервис управления общественным транспортом	создание новых и оптимизация существующих автобусных парков, формирование новых маршрутов, поиск заявок в зависимости от расписания
K.Cloud	сервис приема, обработки, хранения, данных с устройств и электронных блоков автомобилей	предназначена для реализации концепции «подключенный автомобиль». Позволяет разрабатывать приложения для решения задач удаленного взаимодействия с авто
Сигнал	сервис сбора данных и оценки производственной эффективности	помогает производству видеть картину работы оборудования в реальном времени и принимать решения на основе данных
OPTERA	сервис компьютерного зрения, ИИ-решение для оптимизации условий труда на производстве	выявляет перегрузки, нарушения и неэффективные действия на рабочих местах с помощью нейросетевого видеоанализа.
MES	система единого цифрового контура оперативного управления производством в режиме, реальному времени	системное автоматизированное управление на основе данных за счет: цифровизации процессов исполнения производственных заказов; регистрация и консолидация фактических производственных событий; обеспечение оперативного контроля сроков и реагирование на отклонения

К представленной в таблице 1 информации добавим, что 400+ корпоративных клиентов регулярно заказывают технику через сервис ИТИС-KAMAZ, который охватывает такие регионы, как Республику Татарстан, Московскую область, в том числе и столицу, Краснодарский край. Выручка в 2025 году составила более 127 млн рублей.

Через сервис KAMAZ-MARKET реализовано свыше 2250 ед. техники с выручкой от продаж в 564 млн. рублей по итогам 2025 года.

Внедрение MES в ПАО «КАМАЗ» стало частью масштабной программы цифровизации производства: платформа позволяет контролировать выполнение работ, оптимизировать расстановку заданий, минимизировать время на переналадки, ускорить коммуникационные связи основных и вспомогательных служб.

Такие сервисы, как «Челнок Карго», «K.Cloud», «Оптера» и «MES» включены в Реестр российского программного обеспечения Минцифры России [8].

К перечисленным цифровым сервисам можно добавить действующие с 2021 года в ПАО «КАМАЗ» платформы партнерства, такие как:

– «По пути» – сервис онлайн-партнерства с Министерством по транспорту г. Москвы и МО, согласно которому более 60 микроавтобусов ежедневно обслуживают более 1800 пассажиров;

– логистическая платформа «NATCAR» по грузовым коммерческим перевозкам, которая позволяет владельцам парков индивидуально подбирать маршруты и планировать заявки и загрузку впрок;

– «Цифровой километр» – платформа, предоставляющая возможность розничным инвесторам и сотрудникам компании вкладываться в активы компании с доходностью до 21,75%-23%.

К перечисленному следует добавить и о процессах роботизации производства, благодаря которой в ПАО «КАМАЗ» увеличивается производительность и повышается качество выпускаемой продукции. Роботы быстрее и точнее позиционируют, перемещают и обрабатывают детали, работают круглосуточно с высокой производительностью.

В 2025 году в производственной системе «КАМАЗ» было задействовано 311 промышленных роботов и 7 роботов, задействованных в складских операциях и логистических роботах. Показателем роботизации является плотность как отношение количества роботов, задействованных в производственном процессе приходящихся на 10000 работников компании. В ПАО «КАМАЗ» имеются 3 роботизированных комплекса. Роботы задействованы на сварке узлов кабины К5, поперечин рам, каркасов колесной арки и основания транспортного средства, в процессах имитационного моделирования.

Подводя итоги проведенному исследованию, можно сказать, что, активная цифровизация производственной системы, основу которой составляет замещение зарубежного программного обеспечения отечественным к 2030 году, приведет к обеспечению безопасности, независимости и поддержки российского рынка автомобилестроения.

Ожидаемыми результатами, которые уже сегодня можно считать достижимыми, станут:

– безопасность, за счет защиты критически важной информационной инфраструктуры от внешних угроз и отключений сервисов;

– независимость, за счет снижения рисков, связанных с уходом иностранных брендовых продавцов и отзывом лицензий;

– поддержка российского рынка за счет развития местных IT-компаний и создания новых рабочих мест.

Переход российской автомобильной промышленности на отечественные системы программного обеспечения, суверенные цифровые комплексы для проектирования, производства и обслуживания, обеспечат устойчивое развитие и технологический суверенитет отрасли, минимизируя санкционные риски и отключение обновлений ПО, а сквозной цифровой контур позволит объединить разрозненные программные продукты в единую среду от первичного чертежа до утилизации изделия.

Таким образом можно резюмировать, что цифровизация и индустрия 4.0 являются ключевыми инструментами технологической автономии российского автопрома.

Список литературы

1. Концепция технологического развития на период до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р: [Электронный ресурс]: – URL: http://static.government.ru/media/files/ KlJ6A00A1K5t8Aw93NfRG6P8OIbBp18F.pdf (дата обращения: 1.08.2026).

2. Strekalova G. Vectors of digitalization and IT – technologies in agriculture of the republic of Tatarstan / G. Strekalova, S. Kurbanov, S. Strekalova // В сборнике: AIP Conference Proceedings. 1. Сер. “I International Conference ASE-I – 2021: Applied Science and Engineering, ASE-I 2021” 2021. С. 040013.

3. Падение производства автомобилей в России достигло 38% – худший показатель среди всех отраслей промышленности: Центр стратегических разработок: [Электронный ресурс]. – URL: https://www.csr.ru/ru/news/padenie-proizvodstva-avtomobiley-v-rossii-dostiglo-38-khudshiy-pokazatel-sredi-vsekh-otrasley-promyshlennosti/ (дата обращения: 1.08.2026).

4. Годовой отчет ПАО «КАМАЗ» за 2025 год: [Электронный ресурс]: – URL: https://kamaz.ru/investors-and-shareholders/financial-statements (дата обращения: 1.08.2026).

5. Продажи новых тяжелых грузовиков в 2025 году рухнули на 54%: аналитическое агентство АВТОСТАТ: [Электронный ресурс]. – URL: https://www.autostat.ru/news/61615 (дата обращения: 1.08.2026).

6. Vishnevskiy V.P. Tsifrovaya ekonomika v usloviyakh chetvertoy promyshlen-noy revolyutsii: vozmozhnosti i ogranicheniya [The digital economy in the context of the fourth industrial revolution: opportunities and limitations]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika. 35 (4). 606-627. (in Russian). doi: 10.21638/spbu05. 2019. 406.

7. Цифровизация промышленности России: Российский рынок BI- систем: [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/ Статья: Цифровизация _ промышленности _ России (дата обращения: 1.08.2026).

8. Реестры российского и евразийского ПО: [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.gov.ru/activity/gos-uslugi/reestry-programmnogo-obespecheniya (дата обращения: 1.08.2026).

УДК 331.108

ЦИФРОВАЯ КУЛЬТУРА ОРГАНИЗАЦИИ: ОСОБЕННОСТИ, ЭЛЕМЕНТЫ, ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ

Титова С.В., к.пед.н., доцент Казанского инновационного университета имени В.Г. Тимирясова, г. Набережные Челны, Россия;
ORCID: 0009-0001-2188-9289

THE DIGITAL CULTURE OF THE ORGANIZATIONAL PRPCESS : CHARACTERISTICS, ELEMENTS, AND TOOLS FOR THE DEVELOPMENT

Titova S.V., candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, V.G. Timiryazov Kazan Innovative University, Naberezhnye Chelny, Russia;
ORCID: 0009-0001-2188-9289

Аннотация

Активное развитие цифровизации экономики привело к пересмотру взглядов на инструменты работы с персоналом, который должен иметь цифровые компетенции для участия в трансформационных процессах. В этой связи возникла объективная необходимость в формировании цифровой культуры компании, которая не только отвечает современным бизнес-моделям, но и обладает уникальными возможностями в формировании цифровых компетенций работников. Цель данного исследования – обозначить особенности цифровой культуры организации и определить цифровые инструменты ее формирования.

Ключевые слова: цифровая организационная культура, особенности цифровой культуры, цифровые инструменты формирования культуры компании

Abstract

The active development of digitalization of the economy has led to a rethinking of tools for working with personnel who must have digital competencies to participate in transformational processes. In this regard, there is an objective need to form a digital culture of the company that not only meets modern business models but also has unique capabilities in forming digital skills of employees. The aim of this study is to identify the features of a digital culture of an organization and define the digital tools for its formation.

Keywords: digital organizational culture, features of digital culture, digital tools for the formation of company culture

В условиях быстро меняющейся среды каждая организация должна уметь приспосабливаться к изменениям, ведь от этого зависит стабильность ее функционирования и развития. Одним из инструментов, позволяющих эффективно адаптироваться к внешней среде, является организационная культура, актуальность формирования которой определяется следующими факторами:

– сильная культура способна задействовать человеческий ресурс компании в полную силу (основа этого: патриотизм, высокий уровень трудовой мотивации, результативность работы команд);

– ценности, традиции, нормы и образцы общения в рамках организации, разделяемые большинством сотрудников, интегрируют персонал в единую команду;

– организационная культура служит «фильтром» для проникновения в организацию нежелательных элементов;

– культура компании может также регламентировать многие процессы организации (особенно связанные с коммуникациями).

Таким образом, каждый руководитель, заботящийся о процветании своей компании, должен использовать такой инструмент, как организационная культура.

По мере развития цифрового общества появился новый вид организационной культуры – цифровой. Данную проблематику активно изучают А.В. Кенинг [3], N.S. Lafta [1] , М. Хэ и Ж. Ци [7], Ц. Сунь и В.О. Микрюков [6], И.И. Михалев [4], В.С. Плахина [5] , В.И. Грошев и Хэ Мэнин [2] и др.

Следует отметить, что впервые термин «цифровая организационная культура» был введён в 2021 г. Ч. Хиршманом и М. Поулом, после чего данный феномен стал активно изучаться российскими и зарубежными учеными. В настоящее время отсутствует единый подход к пониманию сущности цифровой организационной культуры. Так. А.В. Кенинг под ней понимает синтез ценностей, правил, норм, которые определяют работу сотрудников компании в цифровой среде [3, с. 86].

М. Хэ и Ж. Ци, развивая данную точку зрения подчеркивают, что цифровая организационная культура сложилась в результате цифровизации экономики, что повлекло за собой активное внедрение ИКТ-технологий в рабочую среду (появление цифровых экосистем, цифровых платформ и сервисов) [7, с. 549].

Основную цель цифровой организационной культуры можно сформулировать как помощь в реализации цифровой трансформации организации. Анализируя работы ученых в данной области, можно выделить отличительные черты цифровой организационной культуры:

– формирование мышления, основанного на использовании цифровых данных для оптимизации всех видов работ;

– использование ИКТ-технологий во всех бизнес-процессах организации;

– цифровое сотрудничество со всеми стейкхолдерами.

Основываясь на классическом подходе к организационной культуре и учитывая специфические особенности цифровой культуры, можно назвать ее базовые элементы:

– цифровые коммуникации, т.е. большая часть взаимодействий, как в рамках компании, так и вне ее, происходит через онлайн-каналы (видеоконференции, платформы для обмена знаниями и т.п.);

– правила цифрового общения (сетевой этикет);

– цифровые компетенции сотрудников, что относится к «мягким» навыкам (коллаборации в онлайн-среде, цифровой этикет и пр.);

– использование гибких методологий в решении операционных задач и установлении стратегических целей (автоматизация формализованных задач, проектные подходы при трансформации компании);

– цифровая безопасность как основной принцип ведения бизнеса;

– внедрение цифровых технологий на всех этапах работы с персоналом;

– изменение мышления персонала, который должен быть открыт к новым технологиям и уметь изменяться, приспосабливаясь к внешней среде.

Ц. Сунь и В.О. Микрюков отмечают, что с появлением цифровой организационной культуры появились и цифровые инструменты ее формирования, которые позволяют эффективно внедрять цифровые технологии в организацию в целом, и в ее культуру в частности (рис. 1).

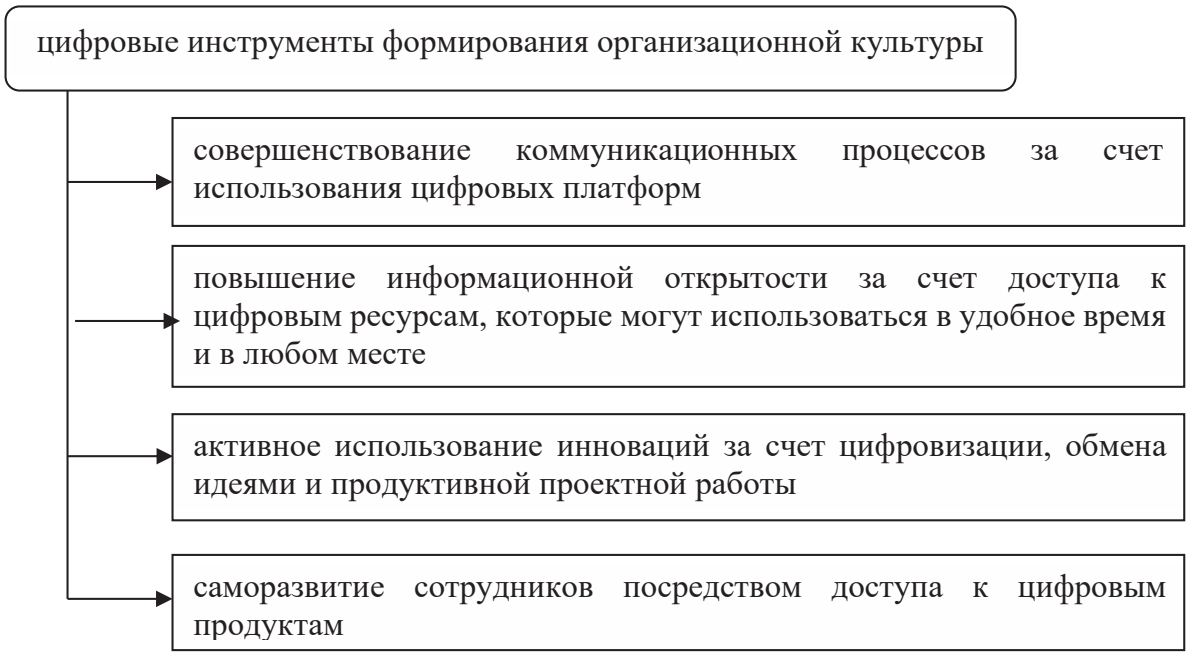


Рис. 1. Цифровые инструменты формирования организационной культуры [6, 168]

Автор считает, что к данному перечню цифровых ресурсов формирования организационной культуры можно отнести:

– цифровые сервисы, которые компания может использовать при подборе персонала, его адаптации, ротации сотрудников и пр.;

– цифровые системы подбора, отбора и найма персонала;

– цифровые технологии кадрового учета (планирование персонала, движение сотрудников в организации, обучение и развитие персонала);

– цифровые образовательные системы, которые учитывают потребности и специфику работы компании, структурируют знания, необходимые в работе (онлайн-курсы, вебинары, менторские программы, партнерство с цифровыми ассистентами).

М. Хэ и Ж. Ци считают, что в настоящее время необходимо использовать цифровые методы формирования организационной культуры, представленные на рисунке 2.

Социальные сети позволяют сотрудникам организации неформально общаться, передавать информацию, организовывать профессиональные конкурсы, а также распространять корпоративную информацию, осуществлять обратную связь.

В настоящее время в корпоративном управлении активно используются мобильные приложения, которые позволяют обмениваться документами и файлами, получать уведомления, осуществлять онлайн-обучение, что позитивно влияет на результативность и производительность сотрудников компании.

Онлайн-встречи являются обычной практикой, которую используют компании для оптимизации коммуникаций. Такого рода встречи имеют множество преимуществ: общение в реальном времени, актуальный обмен информацией, значительная экономия времени и бюджета организации, масштабность, возможность использования значительного числа приложений и т.д.



Рис. 2. Цифровые методы формирования культуры компании [7, с. 550]

Онлайн-обучение используется корпоративными университетами компаний для подготовки и развитии своего персонала. Основные достоинства данного метода – изучение материала в собственном темпе, возможность включение в обучающие материалы информации, которая связана с организационной культуры фирмы и транслирует ценности компании

При формировании цифровой организационной культуры рекомендуется использовать геймификацию, которая предполагает включать игровые элементы в работу сотрудников (при обучении, деловых переговорах и т.п.). Многие организации уже сегодня используют рейтинги, награды, баллы или очки для сплочения коллектива и повышения общего уровня мотивации работников.

Для сбора информации об уровне организационной культуры можно применять онлайн-опросы, которые позволяют персоналу выразить собственное мнение по поводу различных аспектов культуры. Такого рода опросы также используют для оценки уровня удовлетворенности персонала различными аспектами работы организации.

Прогрессивные компании внедряют в практику своей работы онлайн-платформы для обмена опытом в рамках развития фирмы. Онлайн-платформы позволяют обсуждать актуальные темы, получать необходимую информацию о фирме, ее целях и философии, правилах и нормах организации, которые доминируют в фирме.

Таким образом, цифровые инструменты формирования организационной культуры имеют определённые достоинства:

– эффективное использование всех каналов коммуникаций, что позволяет своевременно обеспечить персонал информацией, качественно принять решение, ускорить процесс работы в команде, улучшить координацию, привлекая из внешней среды необходимых специалистов;

– повышение возможностей использования информации на всех уровнях организации, что позитивно влияет на качество работы;

– активное стимулирование инноваций, так как цифровая среда дает возможность быстрого получения дополнительной информации, тестирование идей их презентация заинтересованным лицам;

– цифровые технологии позволяют создавать персонифицированные модели развития, сопровождая сотрудника на всех этапах этого процесса (от составления плана до получения обратной связи);

– активное внедрение новых форматов работы: удаленный, гибридный;

– повышение уровня вовлеченности персонала во все процессы организации;

– повышение уровня информированности стейкхолдеров о миссии и ценностях компании;

– возможность проведения системного мониторинга всех элементов компании (в том числе и организационной культуры) на основании определенных цифровых индикаторов (активность в чатах, качество обратной связи и пр.).

При принятии решения организации использовать цифровые инструменты формирования культуры, руководство должно оценить риски, к которым можно отнести:

– возможность встретить сопротивление со стороны персонала трансформационных процессов в организации (особенно в связи с необходимостью переобучения или увеличения нагрузки);

– сохранение «цифрового неравенства», т.е. когда одни работники имеют высокий уровень цифровых навыков, а другие их не имеют, что может привести к изоляции последних;

– угрозы кибербезопасности и риски утечки данных;

– «информационное перенасыщение», т.е. огромные объемы информации могут привести к усталости, стрессу, что негативно влияет на результаты работы;

– определенное «расчеловечивание» общения, т.е. взаимодействие только в цифровой среде не способствует установлению личных контактов, затрудняет решение спорных вопросов;

– появление «цифровых паттернов», т.е. нежелательных моделей общения (распространение фейков, игнорирование чатов);

– размывание границ между рабочим и личным временем, когда существует постоянная возможность писать в чаты, что приводит к стрессу;

– появление «цифрового шума», когда в больших объемах данных важная информация теряется и сотрудники устают от постоянного потока новых уведомлений;

– искажение обратной связи из-за возможности «накручивания» результатов, что приводит к неверным трендам и отсутствию реальной аналитики для установления стратегических задач;

– зависимость от цифровых технологий может привести к нарушению межличностного общения.

Несмотря на явные риски при использовании цифровых технологий формирования организационной культуры необходимо понимать, что цифровизация – это тренд современности, а значит необходимо умело балансировать между цифровыми каналами и «живым» человеческим общением.

Таким образом, цифровая организационная культура – это система норм, ценностей, правил, моделей поведения и общения, основанных на цифровых технологиях. Основой такой культуры являются цифровые компетенции работников, при этом учитываются не только их умения использовать цифровые технологии, скорее это цифровое мышление, позволяющее решать поставленные перед персоналом задачи.

Список литературы

1. Lafta, N.S. The role of organizational culture in managing digital transformation in textiles / Lafta N.S., Jasim R. M., Turatbekova A., Ali M., Abbas // Izvestiea Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Teknoligiea Tekstil'not Promyshltnnosti. – 2025. – № 4 (418). – С. 5-14.

2. Грошев, И. В, Мэнин, Хэ Управление цифровой трансформацией организационной культуры и формирующих ее факторов в условиях цифровизации / И.В. Грошев, Хэ Мэнин // Вестник университета. – 2024. – № 11. – С. 5 – 13.

3. Кенинг, А. В. Цифровые технологии и эффективность компаний: роль цифровой организационной культуры / А. В. Кенинг // Стратегия социально-экономического развития об-

щества: управленческие, правовые, хозяйственные аспекты: сборник научных статей Международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 85-89.

4. Михалев, И. И. Цифровая организационная культура промышленного предприятия / И. И. Михалев // Среднерусский вестник общественных наук. – 2024. – Т. 1. – № 4. – С. 182-205.

5. Плахина, В. С. Влияние цифровых технологий на организационную культур и модели управления / В. С. Плахина // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций: сборник статей. – 2024. – С. 489-493.

6. Сунь, Ц., Микрюков, В.О. Цифровая организационная культура человеческих ресурсов / Ц. Сунь, В.О. Микрюков // Дискуссия. – 2024. – № 6. – С. 168-173.

7. Хэ, М., Ци, Ж. Цифровая организационная культура компании как новый вектор развития / М. Хэ, Ж. Ци // Механизм реализации стратегии социально-экономического развития государства: сборник материалов Международной научно-практической конференции. – 2023. – С. 549-551.

УДК 004.852

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗРАБОТЧИКАМ НА ОСНОВЕ ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Фёдорова А.Ю., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0001-6782-830X

A METHODOLOGY FOR FORMING A TRAINING DATASET FOR INTELLIGENT TASK ASSIGNMENT TO SOFTWARE DEVEL OPERS BASED ON HISTORICAL DATA

Fedorova A.Yu., student of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-6782-830X

Аннотация

Качество модели интеллектуального назначения задач в значительной степени определяется не выбранным классификатором, а способом формирования обучающей выборки из истории проекта, поскольку исходные журналы задач не содержат готовых положительных и отрицательных пар «задача – сотрудник». Цель работы состоит в разработке воспроизводимой методики подготовки исторических данных для последующего ранжирования разработчиков на примере набора The TAWOS Dataset, содержащего сведения об открытых Agile-проектах, задачах, исполнителях, компонентах, спринтах и изменениях. В качестве положительного примера предлагается использовать наблюдаемого исполнителя завершённой задачи из поля Assignee_ID, при этом такая метка трактуется только как исторически зафиксированное назначение и не приравнивается к объективно оптимальному выбору. Множество альтернативных кандидатов формируется из пользователей, которые до момента создания рассматриваемой задачи уже выступали исполнителями завершённых задач того же проекта; дополнительно вводятся параметры минимальной истории и недавней активности, а случаи нового сотрудника учитываются отдельно. Для обучения используется ограниченный случайный отбор отрицательных примеров, тогда как на тестовой части сохраняются все допустимые кандидаты, что позволяет оценивать не только бинарную классификацию, но и фактическое положение на-

блюдаемого исполнителя в ранжированном списке. Предложенный набор признаков включает свойства задачи, накопленную историю разработчика и признаки соответствия пары, причём все агрегаты рассчитываются только по событиям, завершившимся до Creation_Date текущей задачи, что исключает использование будущей информации. Результатом является пошаговая методика формирования выборки, предусматривающая временное разделение данных, анализ чувствительности к порогам истории и активности, отдельный учёт cold start и фиксацию статистики после каждого этапа очистки; эта методика служит непосредственной основой для последующего эксперимента с Random Forest и другими способами ранжирования. Отдельно подчёркивается, что точная текущая загрузка, рабочие графики и другие сведения, отсутствующие в TAWOS, не должны восстанавливаться искусственно и включаться в эксперимент как достоверные признаки.

Ключевые слова: машинное обучение, назначение задач, разработчики, TAWOS, обучающая выборка, ground truth, отрицательное семплирование, временное разделение

Abstract

The quality of an intelligent task-assignment model is determined to a large extent not by the selected classifier but by the way the training dataset is reconstructed from project history, because issue trackers do not directly contain ready-made positive and negative task–developer pairs. The study develops a reproducible methodology for preparing historical data for subsequent developer ranking using The TAWOS Dataset, which contains information about open-source Agile projects, issues, assignees, components, sprints, and recorded changes. The assignee stored in the Assignee_ID field of a resolved issue is used as the positive example, but this label is interpreted only as an observed historical assignment and is not equated with an objectively optimal developer choice. Alternative candidates are constructed from users who, before the creation time of the current issue, had already appeared as assignees of resolved issues in the same project; minimum-history and recent-activity thresholds are then applied, while new-developer cases are recorded separately. A limited random sample of negative candidates is used during training, whereas every eligible candidate is retained in the test part so that evaluation can measure the position of the observed assignee in a complete ranked list rather than rely only on binary classification. The proposed feature set combines task attributes, accumulated developer history, and task–developer matching characteristics, with every historical aggregate computed only from events completed before the current issue's Creation_Date to prevent future information from entering the model. The resulting procedure specifies temporal data splitting, sensitivity analysis for history and activity thresholds, explicit treatment of cold start, and reporting of dataset statistics after each cleaning stage, thereby providing a reproducible data-preparation basis for subsequent experiments with Random Forest and other ranking approaches.

Keywords: machine learning, task assignment, software developers, TAWOS, training dataset, ground truth, negative sampling, temporal split

Введение

Для обучения модели назначения недостаточно иметь таблицу задач и столбец с фамилией исполнителя. Модель должна сравнивать нескольких кандидатов на одну задачу, а значит, исходную историю проекта приходится преобразовывать в новый набор данных. Именно на этом этапе возникают вопросы, которые напрямую влияют на результат: кого считать правильным исполнителем, откуда брать отрицательные примеры и какую информацию разрешено использовать на момент назначения.

Эта проблема характерна для исследований software task assignment в целом. Исторические данные проектов используются как основа для построения обучающих примеров, однако качество таких меток требует отдельной проверки. K. A. Tecimer и соавторы показали, что фактический assignee не всегда является надёжным ground truth: историческое назначение отражает реальное решение проекта, но не доказывает, что другой сотрудник справился бы хуже [3].

Для эксперимента выбран The TAWOS Dataset. Его авторы создавали набор как более универсальный источник данных из Jira и прямо указывают issue assignment среди возможных направлений использования [1]. В исходной публикации описано 508 963 issue из 44 проектов и 13 Jira-репозиториев. Актуальная опубликованная версия 1.1 содержит 458 232 issue из 39 проектов и 12 репозиториев: один репозиторий с пятью проектами был исключён после того, как перестал быть публично доступен [2].

Цель статьи – зафиксировать воспроизводимую схему подготовки TAWOS для задачи назначения разработчиков: определить наблюдаемую целевую переменную, правила отбора задач и кандидатов, способ формирования отрицательных примеров, исторические признаки и временную границу, после которой данные использовать нельзя.

1. Состав и ограничения The TAWOS Dataset

TAWOS хранится как реляционная база данных. Центральная таблица Issue содержит основные сведения о задаче: тип, приоритет, статус, решение, даты, Story Point, временные характеристики, идентификаторы проекта, спринта и исполнителя. Связанные таблицы описывают пользователей, компоненты, версии, комментарии, связи между issue и журнал изменений [1]. Соответствующие данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сущности TAWOS, используемые при формировании выборки

Сущность	Данные, полезные для назначения	Как используются
Issue	Type, Priority, Creation_Date, Resolution_Date, Story_Point, Assignee_ID, Project_ID, Sprint_ID	характеристики задачи, целевая метка, временная граница
User	ID	идентификация пользователя; связь с проектом восстанавливается через прошлые назначения
Issue_Component	Issue_ID, Component_ID	опыт сотрудника с компонентами
Component	ID, Project_ID	контекст компонента
Sprint	Start_Date, End_Date, Complete_Date, Project_ID	контекст итерации
Change_Log	Field, Change_Type, Creation_Date, Issue_ID	факт изменений assignee/status и анализ устойчивости назначения

В TAWOS нет отдельного поля с рабочим графиком, отпуском, больничным или локальным часовым поясом сотрудника. Все даты были приведены авторами к всемирному координированному времени (UTC) [1]. Поэтому эти параметры нельзя включать в экспериментальную выборку как реальные характеристики сотрудников TAWOS. Они могут появиться позже, когда модель будет встроена в собственную информационную систему.

Есть и более тонкое ограничение. Поле Assignee_ID в Issue показывает исполнителя, записанного в снимке базы. Change_Log хранит предыдущие и новые значения изменённых полей, в том числе изменения assignee, однако персональные значения в журнале обезличены. Из-за этого восстановленный из истории исполнитель не всегда может быть надёжно сопоставлен с идентификатором из таблицы User. Поэтому в базовой постановке используется Assignee_ID из таблицы Issue, а первоначальное назначение не восстанавливается искусственно.

2. Что считается положительным примером

Для построения выборки сначала нужно выбрать момент, в который модель должна была бы сделать рекомендацию. В базовой постановке используется Creation_Date задачи: именно в этот момент система получает новую запись и может сформировать рекомендацию по имеющейся истории. При этом целевая метка берётся из итогового Assignee_ID снимка TAWOS. Поэтому модель не восстанавливает первоначальное назначение, а учится рекомендовать разработчика, который в итоге указан исполнителем в доступном снимке данных.

Формально положительная пара задаётся формулой (1).

$$(t, e_obs, y = 1), \tag{1}$$

где t – задача, а e_obs – наблюдаемый assignee в снимке данных.

Такое определение намеренно не использует формулировку «оптимальный исполнитель». Оно говорит только о том, что сотрудник является наблюдаемым исполнителем данной задачи. Tecimer и соавторы показывают, почему это различие важно: реальные данные task assignment могут содержать систематическое смещение, а назначенный разработчик может быть не лучшим из всех возможных кандидатов [3].

Для основной выборки предлагается оставлять только задачи, у которых заполнены Assignee_ID, Project_ID, Creation_Date, Resolution_Date и Resolution. Ограничение завершёнными задачами нужно не для того, чтобы использовать их итоговые показатели как вход модели, а чтобы не смешивать законченные назначения с задачами, которые на момент снимка ещё могли находиться в работе.

3. Формирование множества кандидатов

Нулевой класс нельзя формировать из случайных пользователей всей базы. Сотрудник из другого проекта не является содержательным отрицательным примером: он просто не мог быть назначен на эту задачу.

Для каждой задачи множество кандидатов строится не по полю Project_ID таблицы User, а по фактической истории назначений. В него включаются пользователи, которые до Creation_Date текущей задачи уже встречались как Assignee_ID завершённых задач того же проекта. Для основной версии выборки вводятся два условия: не менее пяти ранее завершённых задач в этом проекте и хотя бы одна завершённая задача за предыдущие 365 дней. Первое условие отсеивает пользователей, по которым невозможно построить устойчивые исторические признаки. Второе уменьшает вероятность включения разработчиков, которые давно перестали активно участвовать в проекте.

Если наблюдаемый assignee сам не удовлетворяет этим условиям, задача относится к cold start случаю и не включается в основной эксперимент. Такие записи не удаляются из исходных данных: их количество должно быть показано отдельно, потому что cold start является реальным ограничением исторического рекомендательного подхода.

Условия «пять задач» и «365 дней» являются параметрами методики, а не свойствами TAWOS. Их нельзя считать единственно правильными значениями. В эксперименте следует проверить чувствительность результата как минимум для порогов 3, 5 и 10 прошлых задач и окон активности 180, 365 и 730 дней.

4. Отрицательные примеры и отрицательное семплирование

После определения множества кандидатов для задачи остаётся одна наблюдаемая положительная пара и несколько альтернативных сотрудников. Для каждого альтернативного кандидата формируется отрицательная пара по формуле (2).

$$(t, e, y = 0). \tag{2}$$

Здесь $y = 0$ означает только «этот сотрудник не является наблюдаемым assignee данной задачи». Это не равнозначно утверждению, что сотрудник не смог бы выполнить задачу.

Если использовать всех кандидатов, число отрицательных объектов быстро становится большим. Например, при 30 допустимых разработчиках одна задача даёт одну положительную и 29 отрицательных пар. Для обучающей части предлагается ограничить число отрицательных примеров пятью на одну задачу. Они выбираются случайно из множества кандидатов с фиксированным значением генератора случайных чисел (seed), что делает процедуру воспроизводимой.

На тестовой части отрицательное семплирование применять не следует: для оценки ранжирования модель должна сравнить наблюдаемого исполнителя со всеми допустимыми кандидатами данной задачи. Так разделяются две цели: компактное обучение и реалистичная проверка.

В дальнейшем можно отдельно исследовать отбор сложных отрицательных примеров – например, выбирать не случайных сотрудников, а кандидатов с большим опытом по тому же компоненту. Но смешивать эту гипотезу с базовой процедурой формирования данных на первом этапе не требуется.

5. Признаки задачи и разработчика

Признаки строятся только из информации, которая существовала до Creation_Date текущей задачи. Их удобно разделить на характеристики задачи, историю разработчика и признаки соответствия пары. Соответствующие данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Признаки задачи, разработчика и их соответствия

Группа	Признак	Источник	Комментарий
Задача	task_type	Issue.Type	категориальный признак
Задача	priority	Issue.Priority	категориальный признак
Задача	story_points	Issue.Story_Point	пропуски сохраняются с отдельным индикатором
Задача	project_id	Issue.Project_ID	используется как контекст/группировка, не как порядковое число
Задача	components	Issue_Component	одна задача может иметь несколько компонентов
Разработчик	prior_resolved_count	история Issue.Assignee_ID	число завершённых задач до *t*
Разработчик	recent_resolved_365d	история Issue	активность за последний год
Разработчик	avg_resolution_time	Issue.Resolution_Time_Minutes	среднее только по прошлым завершённым задачам
Разработчик	median_resolution_time	Issue.Resolution_Time_Minutes	устойчивее к выбросам, чем среднее
Пара	same_type_count	Issue.Type + Assignee_ID	опыт с тем же типом задач
Пара	same_component_count	Issue_Component + Assignee_ID	опыт с компонентами текущей задачи
Пара	same_project_count	Project_ID + Assignee_ID	накопленный опыт в проекте
Пара	days_since_last_assignment	Creation_Date + история	давность последнего назначения

В базовую версию сознательно не включается «текущая загрузка сотрудника». По снимку Issue.Assignee_ID можно посчитать приближённое число незавершённых задач, однако при наличии переназначений неизвестно, в какой именно период сотрудник отвечал за конкретный issue. Использовать такую величину как точный исторический нагрузку было бы слишком сильным допущением.

Также не используются Resolution_Date, Resolution_Time_Minutes, Total_Effort_Minutes и другие итоговые характеристики текущей задачи как её входные признаки. Они становятся известны после назначения и привели бы к утечке информации.

6. Временная граница и предотвращение утечки данных

Для каждой задачи временная граница определяется по Creation_Date. Любая статистика кандидата рассчитывается только по событиям, завершившимся раньше этой даты.

Например, если задача создана 10 мая 2021 года, среднее время решения для кандидата нельзя считать по всей его истории в TAWOS. В расчёт входят только задачи, завершённые до 10 мая. Задачи, закрытые в июне или июле, относятся к будущему относительно рассматриваемого назначения.

Это правило относится ко всем агрегатам: количеству прошлых задач, опыту с компонентом, среднему времени решения и давности последнего назначения. Такой подход соответствует временной схеме оценки в software analytics, где модель обучается на прошлом и проверяется на более поздних данных [4].

Разделение обучающей и тестовой частей также проводится на уровне задач по времени. После сортировки по Creation_Date более ранняя часть используется для обучения, более поздняя – для проверки. Все пары одной задачи должны находиться в одном разделе: нельзя поместить положительный пример задачи в обучающую часть, а её отрицательных кандидатов – в тестовую.

7. Воспроизводимый алгоритм формирования выборки

Процедуру можно представить как последовательность из восьми шагов.

1) отобрать завершённые issue с заполненными Assignee_ID, Project_ID, Creation_Date и Resolution_Date;

2) отсортировать задачи внутри проекта по Creation_Date;

3) для каждой задачи зафиксировать временную границу по Creation_Date;

4) построить множество кандидатов из пользователей, которые до τ уже встречались как Assignee_ID завершённых задач этого проекта, затем применить пороги минимальной истории и недавней активности;

5) если наблюдаемый assignee не входит в множество кандидатов, пометить задачу как cold start и исключить из основной выборки;

6) для каждого кандидата рассчитать признаки только по истории до τ;

7) создать одну положительную пару с наблюдаемым assignee и до пяти случайных отрицательных пар для обучения;

8) при тестировании сохранить всех допустимых кандидатов, чтобы оценивать полноценное ранжирование.

Итоговая таблица имеет одну строку на пару «задача – сотрудник». Task ID и employee ID сохраняются для группировки и воспроизводимости, но не должны без дополнительного обоснования использоваться моделью как обычные числовые признаки. Соответствующие данные приведены в таблице 3.

Таблица 3

Пример структуры обучающей выборки

task_id	employee_id	type	prior_resolved	same_component	target
T1	E14	Bug	42	18	1
T1	E7	Bug	31	5	0
T1	E21	Bug	15	12	0
T2	E7	Story	33	16	1

8. Масштаб исходного набора и что именно фиксируется в эксперименте

В публикации TAWOS 2022 года приведена статистика исходной версии: 508 963 issue, 237 594 bug reports, 208 811 пользователей и 6 313 разработчиков в 44 проектах [1]. Версия 1.1 исключает один репозиторий с пятью проектами и содержит 458 232 issue из 39 проектов [2]. Поэтому в дальнейших статьях нельзя одновременно использовать цифры двух версий без пояснения.

Для воспроизводимости эксперимент должен фиксировать: DOI и версию TAWOS, дату получения набора, критерии фильтрации, количество задач до и после каждого шага, количество cold start записей, число разработчиков и итоговое число положительных и отрицательных пар. Эти значения нельзя брать из общей статистики TAWOS: они появляются только после выполнения описанной процедуры.

В настоящей статье не приводятся придуманные значения размера очищенной выборки. Они должны быть получены непосредственно при запуске процедуры подготовки данных на версии 1.1 и затем использованы без изменения в экспериментальной статье.

9. Ограничения

Первое ограничение связано с целевой переменной. Assignee_ID показывает наблюдаемого исполнителя в снимке TAWOS, но не доказывает, что он был лучшим кандидатом. Кроме того, признаки строятся на момент Creation_Date, тогда как Assignee_ID отражает состояние более позднего снимка; если задачу переназначали, модель фактически учится предсказывать итогового наблюдаемого исполнителя, а не первоначальное назначение. Это типичная проблема ground truth для software task assignment [3].

Второе ограничение – отсутствие полного контекста организации. TAWOS не содержит отпусков, рабочих графиков, должностей и корпоративных ограничений. Модель на этом наборе изучает закономерности открытых Jira-проектов, а не весь процесс распределения задач в коммерческой компании.

Третье ограничение касается cold start. Для нового сотрудника без истории невозможно рассчитать признаки опыта. В основной выборке такие случаи исключаются и учитываются отдельно; в прикладной системе для них потребуется резервная эвристика.

Наконец, результаты на TAWOS нельзя автоматически переносить на все команды разработки. Даже time-aware проверка показывает качество метода только в пределах выбранных проектов и периода наблюдения. Исследования software analytics отдельно отмечают, что характеристики проектов и данные меняются со временем [4].

Выводы

В статье описана воспроизводимая методика подготовки The TAWOS Dataset для задачи интеллектуального назначения разработчиков. Основным объектом обучения является пара «задача – сотрудник», а положительным классом – наблюдаемый assignee завершённой задачи.

Отрицательные примеры выбираются не из всех пользователей базы, а из сотрудников того же проекта с достаточной предыдущей историей. Для обучения используется ограниченное отрицательное семплирование, тогда как на тестовой части должны сравниваться все допустимые кандидаты.

Отдельно определена временная граница: признаки кандидата рассчитываются только по данным, которые были известны до создания задачи. Из базового набора исключены признаки, для которых TAWOS не позволяет надёжно восстановить состояние на момент назначения, в частности точная рабочая нагрузка и индивидуальные рабочие графики.

Полученная методика отделяет подготовку данных от выбора конкретного классификатора. Следующий этап исследования – реализовать процедуру подготовки данных на версии TAWOS 1.1, зафиксировать фактическую статистику очищенной выборки и на одной и той же временной тестовой части сравнить Random Forest с простыми базовыми способами ранжирования.

Список литературы

1. Tawosi, V. A Versatile Dataset of Agile Open Source Software Projects / V. Tawosi, A. Al-Subaihin, R. Moussa, F. Sarro // Proceedings of the 19th IEEE/ACM International Conference on Mining Software Repositories (MSR). – 2022. – P. 707–711. – DOI: 10.1145/3524842.3528029.

2. Tawosi, V. The TAWOS Dataset. Version 1.1 / V. Tawosi, A. A. A. Alsubaihin, R. Moussa, F. Sarro. – UCL Research Data Repository, 2022. – DOI: 10.5522/04/21308124.v1.

3. Tecimer, K. A. Cleaning ground truth data in software task assignment / K. A. Tecimer, E. Tüzün, C. Moran, H. Erdogmus // Information and Software Technology. – 2022. – Vol. 149. – Article 106956. – DOI: 10.1016/j.infsof.2022.106956.

4. Bangash, A. A. On the time-based conclusion stability of cross-project defect prediction models / A. A. Bangash, H. Sahar, A. Hindle, K. Ali // Empirical Software Engineering. – 2020. – Vol. 25, № 6. – P. 5047–5083. – DOI: 10.1007/s10664-020-09878-9.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 37.013:004.8

ЭВОЛЮЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПАРАДИГМ В ЭПОХУ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ОТ КОНФЛИКТА СУБЪЕКТНОСТЕЙ К ЭКОСИСТЕМЕ ДОВЕРИЯ

Абакумова Н.Н., к.пед.н., доцент факультета психологии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», старший научный сотрудник центра дополнительного физико-математического и естественнонаучного образования ФГБОУ «Томский государственный педагогический университет», г. Томск, Россия;
ORCID: 0000-0003-3221-0400;
E-mail: niv_tomsk@mail.ru;
Цигулева О.В., к.пед.н., доцент, заведующий кафедрой иностранных языков ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», г. Новосибирск, Россия;
ORCID: 0000-0002-2945-0289;
E-mail: oltsiguleva@yandex.ru;
Червонный М.А., д.пед.н., доцент, профессор кафедры физики и методики обучения физике, директор центра дополнительного физико-математического и естественнонаучного образования, ФГБОУ «Томский государственный педагогический университет», г. Томск, Россия;
ORCID: 0000-0002-4459-5726;
E-mail: mach@tspu.edu.ru

THE EVOLUTION OF EDUCATIONAL PARADIGMS IN THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE AGE: FROM A CONFLICT OF AGENCY TO A TRUST ECOSYSTEM

Abakumova N.N., Ph.D. (Education), Associate Professor, Faculty of Psychology, National Research Tomsk State University, Senior Researcher at the Center for Additional Physical, Mathematical, and Natural Science Education, Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia;
ORCID: 0000-0003-3221-0400;
E-mail: niv_tomsk@mail.ru;
Tsiguleva O.V., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Foreign Languages Department, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia;
ORCID: 0000-0002-2945-0289;
E-mail: oltsiguleva@yandex.ru;
Chervonnyy M.A., D.Sc. (Education), Associate Professor, Professor of the Department of Physics and Methods of Teaching Physics, Director of the Center for Additional Physical, Mathematical and Natural Science Education, Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia;
ORCID: 0000-0002-4459-5726;
E-mail: mach@tspu.edu.ru

Аннотация

В работе систематизированы четыре исторических этапа смены образовательных парадигм: доклассическая, классическая, неоклассическая и цифровая. Выявлено, что цифро-

вая парадигма в ее технократической версии (адаптивная парадигма) вступает в конфликт с антропоцентрической парадигмой, сохраняющей приоритет субъектности и гуманитарных ценностей. Данный конфликт проанализирован через три противоречия: между эффективностью и смыслом, управляемостью и свободой, алгоритмической справедливостью и индивидуальной уникальностью. Обосновано, что преодоление этого конфликта требует диалектического синтеза, центральным конструктом которого выступает доверие. Доверие рассмотрено в трех измерениях: эпистемологическом (критическая навигация в информационной среде), психологическом (регуляция технологической тревоги) и институциональном (основа трансграничного сотрудничества). В научный оборот введен концепт «экосистема доверия» как методологический ориентир для интеграции технологической эффективности и человеческой субъектности.

Ключевые слова: образовательная парадигма, искусственный интеллект, цифровая трансформация, антропоцентризм, субъектность, доверие, дидактика

Abstract

The study systematizes four historical stages of educational paradigm shifts: pre-classical, classical, neoclassical, and digital. It identifies a conflict between the digital paradigm in its technocratic (adaptive) form and the anthropocentric paradigm, which prioritizes human agency and humanitarian values. This conflict is analyzed through three contradictions: between efficiency and meaning, manageability and freedom, and algorithmic fairness and individual uniqueness. The paper argues that resolving this conflict requires a dialectical synthesis centered on the trust concept. Trust is examined across three dimensions: epistemological (critical navigation within the information environment), psychological (regulation of technological anxiety), and institutional (foundation of cross-border cooperation). The concept of a “trust ecosystem” is being introduced into scientific discourse; it is proposed to use it as a methodological guideline that allows combining technological efficiency with the preservation of human subjectivity.

Keywords: educational paradigm, artificial intelligence, digital transformation, anthropocentrism, agency, trust, didactics

Современный этап цивилизационного развития, характеризуемый переходом к индустрии 5.0, знаменует фундаментальную трансформацию антропологических оснований социальных практик. Система образования оказывается в эпицентре данного сдвига: она испытывает давление цифровой экономики, требующей подготовки «человека операционного», способного к эффективному взаимодействию с алгоритмами, и одновременно призвана сохранять гуманистический вектор развития, удерживая баланс между технологической эффективностью и субъектностью личности.

Актуальность предпринятого исследования продиктована нарастающим рассогласованием между классической знаниевой моделью образования, в основе которой лежит трансляция устоявшихся смыслов и канонизированных информационных блоков, и сетевым, децентрализованным способом порождения знания, характерным для современного цифрового социума. Внедрение технологий искусственного интеллекта в практику обучения ставит перед педагогическим сообществом принципиальный вопрос о месте и функциях ИИ в образовательном взаимодействии: перестает ли он быть просто инструментом и обретает ли статус полноправного участника диалога наряду с преподавателем и обучающимся [1]. В этом контексте обнаруживается двойственная природа цифровизации: с одной стороны, открываются широкие перспективы для построения индивидуализированных образовательных маршрутов, с другой – возникают угрозы, связанные с размыванием воспитательной составляющей обучения и возможной трансформацией личностной идентичности участников педагогического процесса.

В современной педагогической науке все более отчетливо проявляется противостояние двух стратегических линий. Первая – адаптивная (или технократическая), трактует образование как сервисную среду, нацеленную на эффективную доставку контента в рамках EdTech-подхода, где ведущая роль отводится алгоритмизированным методам дидактики. Вторая – антропоцентрическая (или гуманитарная), делает акцент на приоритете живого, событийного диалога, ориентированного на становление личностной субъектности. В этой связи категория доверия приобретает особую значимость.

Данные современных исследований свидетельствуют о том, что механизмы формирования доверия к ИИ-системам существенно отличаются от традиционных моделей взаимодействия человека с техническими устройствами [4, 5, 6]. Это обусловлено тем, что искусственный интеллект нередко воспринимается субъектами образовательного процесса в качестве «квазисубъекта».

В исследовании поставлена цель провести концептуальный анализ того, каким образом под воздействием ИИ трансформируются образовательные парадигмы, и обосновать необходимость преодоления противостояния между человеческой и машинной субъектностями в пользу формирования сбалансированной экосистемы доверия в сфере образования. Теоретико-методологический фундамент работы выстраивается на основе конструктивисткой эпистемологической позиции, согласно которой ИИ наделяется статусом «когнитивного партнера», вовлеченного в совместную познавательную деятельность, опосредованную диалогическими формами взаимодействия и рефлексивными практиками. В ходе исследования были использованы такие методы, как историко-педагогический анализ, категориальны анализ и концептуальное моделирование. Отечественные и зарубежные исследования, выполненные за последние семь лет в таких областях как цифровая дидактика, психология доверия к ИИ-системам и педагогическая антропология составили эмпирическую базу; все они были проанализированы в сравнительно-сопоставительном ключе.

Анализ историко-педагогического материала позволяет выделить четыре этапа смены образовательных парадигм. Доклассическая парадигма (Античность – Средневековье) ориентирована на трансляцию канона, где субъектность обучающегося минимальна, а знание воспринимается как данность. Классическая парадигма (Новое время – индустриальная эпоха) предполагает систематическую передачу структурированного знания, соответствуя потребностям индустриального общества в стандартизированных кадрах. Неоклассическая парадигма (середина XIX века – конец XX века) знаменует переход к субъект-субъектным отношениям. Учитель перестает быть единственным источником знания и трансформируется в организатора условий, фасилитатора, тьютора, создающего пространство для саморазвития обучающегося. Образование обретает черты событийного диалога, в центре которого – становление субъектности и личностный рост участников.

Цифровая, или сетевая, парадигма, оформление которой приходится на конец XX – начало XXI столетия и связано с глобальной цифровизацией, повсеместным распространением интернета и внедрением ИИ-технологий. Ее отличительными чертами выступают размытость институциональных рамок образования, выход обучения за пределы формальных организаций, приобретение им непрерывного, распределенного и персонализированного характера. Знание в этой парадигме перестает быть монополией института и становится сетевым ресурсом, доступным каждому.

Фиксируется парадигмальный разрыв: классическая и личностно-ориентированная парадигмы доминируют в институциональном образовании, тогда как цифровая парадигма активно проникает через неформальные каналы. Данный разрыв проявляется в противоречиях между линейностью учебного плана и нелинейностью цифрового познания, между авторитетом педагога и доступностью альтернативных источников знаний, между унифицированным оцениванием и индивидуальной траекторией развития.

Столкновение адаптивной и антропоцентрической парадигм порождает отдельные фундаментальные конфликты. Например, адаптивная парадигма оптимизирует усвоение информации, но обесценивает вопрос о личной значимости результата, то есть антропоцентрическая парадигма центрирована на смыслопорождении, но теряет в скорости и экономичности. Другой вопрос, что ИИ-системы, обучаясь на больших массивах данных, ориентированы на «типичного ученика», нивелируя нестандартные проявления, тогда как антропоцентрическая парадигма опирается на уникальность каждого, но не имеет инструментов для ее алгоритмической обработки. Другая сторона конфликта, когда алгоритмический контроль сужает пространство для спонтанного действия, лежащего в основе творчества и личностного роста, то есть антропоцентрическая парадигма становится сложносовместимой с требованиями цифрового учета. В этом контексте на первый план выходит задача поиска такой образовательной модели, которая не отвергает технологических достижений, но переосмысляет их фундаментальное назначение, вписывая их в логику антропоцентрической парадигмы. Инструментом такого переосмысления может выступить диалектический синтез, опирающийся на категорию доверия и позволяющий осуществить переход от алгоритмической эффективности к сохранению и развитию человеческой субъектности.

Наиболее существенным итогом проведенного анализа следует признать обоснование доверия в качестве самостоятельной педагогической категории, которая в условиях цифровой образовательной среды обретает статус системообразующего конструкта. В отличие от «знания» и «компетенции», давно ставших предметом пристальной педагогической рефлексии, доверие в дидактическом контексте до последнего времени оставалось имплицитным, фоновым явлением, нежели объектом целенаправленного теоретического и практического осмысления.

Появление ИИ-систем как полноправных агентов образовательного процесса радикально меняет ситуацию в педагогической науке и практике. Современные исследования [4, 5, 6] показывают, что ИИ-системы воспринимаются пользователями не как нейтральные инструменты, а как обладающие собственной агентностью, способные к целеполаганию и практическому взаимодействию. ИИ выступает как «квазисубъект» образовательного взаимодействия [7], что можно представить как отношения между обучающимся и ИИ-системой организуются по аналогии с межличностными, включая механизмы восприятия контроля, доверия и готовности делегировать полномочия.

В этом контексте доверие перестает быть только межличностной или институциональной категорией и становится технопедагогической – оно регулирует взаимодействие человека с алгоритмическими системами. На основе анализа современной литературы можно выделить три основания для измерения доверия, которые будут значимы для образовательной практики:

1. Когнитивное доверие (доверие к источнику данных и информации). В ситуации информационной избыточности и наличия генеративных нейросетей, способных продуцировать реалистичные, но ложные данные, обучающийся и педагог сталкиваются с необходимостью постоянной верификации. Факт-чекинг трансформируется из дополнительного навыка в базовую предпосылку образовательной деятельности. Как показано в исследовании H. Kim [8], феномен «алгоритмической аверсии» свидетельствует, что доверие не вытекает автоматически из качества результата, а требует целенаправленной педагогической работы по формированию критической цифровой грамотности.

2. Процессуальное доверие (доверие к алгоритму оценки) актуализируется в связи с распространением автоматизированных систем оценивания на основе ИИ. Скрытый характер процедуры оценивания порождает у педагогов и обучающихся закономерную тревогу. Согласно систематическим обзорам [6], классические модели принятия технологий недооценивают конструкты этической неопределенности и педагогического несоответствия. Доверие

к алгоритму оценки требует прозрачности его логики, объяснимости принимаемых решений и возможности апелляции. Педагог должен не просто использовать ИИ-инструменты, но и понимать, как они работают, чтобы транслировать это понимание обучающимся и сохранять свою профессиональную субъектность [9].

3. Институциональное доверие (основа трансграничного сотрудничества). Современные национальные системы образования ориентирована на совместное создание и масштабирование инноваций, и в этом случае доверие выходит на уровень межгосударственных образовательных экосистем. Это требует выработки общих этических бенчмарков для цифровых платформ, стандартов обработки данных обучающихся и критериев качества ИИ-инструментов, которые были бы признаны разными образовательными системами

Доверие в цифровой образовательной среде не возникает спонтанно – оно требует систематической и целенаправленной работы по его формированию. Как показано в исследованиях, доверие к ИИ-системам и технологическая тревога выступают в качестве значимых предикторов поведенческих намерений, причем их влияние выходит за пределы традиционно рассматриваемых факторов воспринимаемой полезности и легкости использования [4]. Из этого следует, что усилия по формированию доверия к ИИ-инструментам должны быть направлены не столько на технологическое обучение, сколько на рефлексию педагогом собственных ценностных ориентиров и профессиональных убеждений.

В этой связи доверие правомерно рассматривать в качестве новой педагогической категории, объединяющей когнитивные, процессуальные и институциональные аспекты образовательного взаимодействия в условиях цифровой среды. В контексте цифровой трансформации и внедрения искусственного интеллекта доверие обретает статус системообразующего элемента образовательной экосистемы, обеспечивая ее этическую устойчивость и психологическую безопасность.

Образовательные экосистемы, функционирующие в различных странах, базируются на культурных традициях, ценностных ориентациях и нормативных регуляторах, которые могут существенно различаться. Вместе с тем цифровые платформы, применяемые в сфере образования, все чаще пересекают национальные границы, что неизбежно ставит на повестку дня вопрос о необходимости выработки единых подходов к обработке данных, этических принципов использования ИИ и Критериев оценки качества цифровых инструментов. В этом контексте доверие приобретает функцию институционального механизма, обеспечивающего совместимость образовательных систем при сохранении их культурной идентичности. Ранее проведенное нами исследование [10] показывает, что гуманитарное содержание образования не должно быть нивелировано в угоду технологической унификации; напротив, именно ценностные различия могут стать ресурсом для взаимного обогащения, если они опираются на взаимное доверие и признание.

Таким образом, доверие в цифровой образовательной экосистеме выполняет три взаимосвязанные функции: 1) критико-ориентационную – обеспечивает способность субъектов образования навигации в информационной среде, сочетая использование ИИ с сохранением автономии суждения; 2) психопротективную – снижает технологическую тревогу и создает условия для устойчивого, полноценного взаимодействия с ИИ-системами; 3) интегративную – обеспечивает совместимость различных образовательных систем и культур в условиях трансграничного сотрудничества. Доверие, понимаемое в единстве его эпистемологического, психологического и институционального измерений, способно стать связующим звеном, которое позволяет преодолеть конфликт адаптивной и антропоцентрической парадигм, не жертвуя ни технологической эффективностью, ни человеческой субъектностью. Это делает его системообразующим конструктом новой дидактики, адекватной вызовам эпохи искусственного интеллекта.

Проведенное исследование подтверждает, что эволюция образовательных парадигм в эпоху искусственного интеллекта представляет собой не смену технологических инструментов, а фундаментальный антропологический сдвиг, требующий переопределения субъектности человека в отношениях с алгоритмическими агентами. Введение концепта «экосистема доверия» позволяет преодолеть редукцию образования либо к технократической эффективности, либо к гуманитарной изоляции, фиксируя новый тип дидактических отношений, где ИИ выступает как партнер педагога и обучающегося в совместном смыслопорождении. Категория «доверие» становится не просто этическим императивом, но функциональным условием устойчивости образовательной системы в условиях трансграничного сотрудничества и цифровой неопределенности.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 26-18-00832, https://rscf.ru/project/26-18-00832/

Список литературы

1. Черных С. И., Борисенко И. Г. Цифровые технологии в образовании и их влияние на изменение человеческого капитала // Философия образования. 2020. Т. 20, № 3. С. 5–20. DOI: 10.15372/PHE20200301.

2. Елькина Е. Е. Автотрофный проект – ответ на вызовы и глобальные риски цифровой эпохи // Мысль: Журнал Петербургского философского общества. 2020. № 22. С. 57-70.

3. Цигулева О.В. Цифровая культура и ценностные аспекты российского образования: антропологический контекст // Профессиональное образование в современном мире. 2025. Т. 15. № 2. С. 239-244. DOI: 10.20913/2618-7515-2025-2-4.

4. Joshi S., Pandey K., Maheta D. The role of perceived trust and technology anxiety in intention to use technology tools in HEI: applying the modified UTAUT from user behavior context // Cogent Education. 2025. Vol. 12. Arti. 2597051. DOI: 10.1080/2331186X.2025.2597051.

5. Glikson E., Woolley A.W. Human Trust in Artificial Intelligence: Review of Empirical Research // Academy of Management Annals. 2020. Vol. 14, No. 2. pp. 627-660. DOI: 10.5465/annals.2018.0057.

6. Daruwala N.A. From Prediction to Pedagogy: A Systematic Review and Integrated Framework for LLM Adoption in Higher Education // International Journal of Research in Education and Science. 2026. Vol. 12, No. 1. pp. 204-229.

7. Wang S., Zhang H. Digital mentor paradox: Transforming algorithmic anxiety into professional growth through AI-scaffolded pedagogical reasoning and identity // Teaching and Teacher Education. 2026. Vol. 176. Article: 105526. DOI: 10.1016/j.tate.2026.105526.

8. Kim H. Beyond algorithm aversion: The impact of psychological readiness on algorithmic advice // Computers in Human Behavior. 2026. Т. 174. С. 108824. DOI: 10.1016/j.chb.2025.108824.

9. Сошенко И.И., Червонный М.А., Абакумова Н.Н. Профессиональные инициативы студентов как фактор развития субъектности будущих педагогов // Вестник Томского государственного университета. 2023. № 492. С. 169-180. DOI: 10.17223/15617793/492/19.

10. Цигулева О.В., Абакумова Н.Н., Поздеева С.И. Гуманитарное содержание человеческого капитала в российской и зарубежной высшей школе: к постановке проблемы // Язык и культура. 2026. № 73. С. 255 – 273. DOI: 10.17223/19996195/73/12.

УДК 004.822

ОНТОЛОГИЧЕСКИ-ТИПИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ ГРАФОВ ЗНАНИЙ ИЗ УЧЕБНЫХ ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ LLM

Алексеев Э.Н., магистрант кафедры информационных систем;
ORCID: 0009-0005-5257-000X;
E-mail: Ed03aleks@mail.ru;
Прокопьев Н.А., доцент Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

ONTOLOGY-GUIDED KNOWLEDGE GRAPH CONSTRUCTION FROM EDUCATIONAL TEXTS USING LLM

Alekseev E.N., Master's student, Department of Information Systems, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID: 0009-0005-5257-000X;
E-mail: Ed03aleks@mail.ru;
Prokopyev N.A., Associate Professor, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

Аннотация

Работа посвящена задаче автоматического построения графа знаний из учебных текстов на естественном языке с помощью большой языковой модели и разработке методики объективной оценки качества такого графа. Существующие подходы к извлечению графов знаний часто не различают типы сущностей и отношений, что ограничивает применимость графа для адаптивного обучения и генерации с обогащением контекста. Предложен онтологически-управляемый конвейер, в котором классы сущностей и типы отношений заданы декларативно в профиле предметной области, а промпты извлечения и правила валидации порождаются из этого профиля. Реализовано типизированное извлечение из русскоязычного учебника и разработана поглавная оценка против экспертного эталона с раздельным расчётом точности, полноты и F_1-меры по типам. В эксперименте на практикуме по дискретной математике извлечение сущностей достигло $F_1 = 1{,}00$ на размеченной главе, тогда как типизированное извлечение отношений – $F_1 = 0{,}07$. Разложение TP, FP и FN указывает одновременно на пропуски связей и ошибки их типизации; агрегированных метрик недостаточно, чтобы объяснить все ошибки только выбором типа. Результаты обосновывают поэлементную оценку графа и определяют извлечение отношений, особенно чёткое разграничение семантики меток, как основное направление улучшения конвейера.

Ключевые слова: граф знаний, онтология, извлечение информации, большая языковая модель, извлечение сущностей, извлечение отношений, оценка качества, точность и полнота, GraphRAG, адаптивное обучение

Abstract

This paper addresses the automatic construction of a knowledge graph from natural-language educational texts using a large language model and develops a methodology for objectively evaluating the resulting graph. Existing approaches often do not distinguish entity and relation types, limiting

their use in adaptive learning and retrieval-augmented generation. We propose an ontology-guided pipeline in which entity classes and relation types are defined declaratively in a domain profile, while extraction prompts and validation rules are generated from that profile, enabling new domains to be added without changing program code. The study implements typed extraction from a Russian-language textbook, constructs an expert gold standard for one chapter, and evaluates precision, recall, and F_1 separately for entity and relation types. In an experiment on a discrete mathematics workbook, entity extraction achieved F_1 = 1.00 on the annotated chapter, whereas typed relation extraction achieved F_1 = 0.07. The TP/FP/FN breakdown indicates both missed relations and relation-type errors; aggregate metrics do not support attributing all errors to type assignment alone. The findings support component-wise evaluation of knowledge graphs and identify relation extraction – especially clear semantic delimitation of relation labels – as the main direction for improving the pipeline.

Keywords: knowledge graph, ontology, information extraction, large language model, entity extraction, relation extraction, quality evaluation, precision and recall, GraphRAG, adaptive learning

1. Введение

Автоматическое построение графов знаний из текстов на естественном языке является одним из ключевых направлений в области обработки естественного языка и представления знаний. Граф знаний, в котором сущности предметной области представлены узлами, а семантические связи между ними – рёбрами, обеспечивает структурированное представление предметной области и служит основой для интеллектуальных систем: генерации ответов с обогащением контекста (Retrieval-Augmented Generation, RAG) и её графового расширения GraphRAG [1], адаптивных обучающих систем, вопросно-ответных сервисов. Появление больших языковых моделей (БЯМ; Large Language Model, LLM) сделало возможным извлечение графа непосредственно из неструктурированного текста без предварительной ручной разметки [2].

Для образовательного приложения мало извлечь из текста произвольный граф. Учебная логика требует различать понятия, формулы и методы, а связь предварительного знания нельзя смешивать с другими отношениями. С оценкой похожая трудность: распространённые метрики считают извлечённые факты, но обычно не показывают отдельно, верно ли модель определила тип сущности и связи.

В представленном исследовании рассматривается методология построения типизированного графа знаний по русскоязычным учебным текстам на основе заранее заданной онтологии. Конвейер был применен к учебнику, а граф одной главы сопоставлен с ручной экспертной разметкой. Точность, полнота и F1-мера рассчитывались по каждому типу из графа знаний для исследования числа ошибок и причин их возникновения.

2. Обзор подходов к построению и оценке графов знаний

Авторы обзора GraphRAG [3] делят архитектуру на пять компонентов: обработчик запроса, ретривер, организатор контекста, генератор и источник данных. Для задачи исследования наиболее важен последний компонент. Графовые источники зависят от предметной области, поэтому одной схемы извлечения недостаточно.

Преимущество графовой структуры зависит от характера задачи. В GraphRAG-Bench [4] оно анализируется на заданиях по извлечению фактов, сложному рассуждению, контекстному обобщению и генерации. Результаты показывают, что эффект определяется не только типом вопроса, но и качеством построения и извлечения графа; поэтому оценка одного конечного ответа не позволяет диагностировать промежуточные этапы конвейера.

Для узких предметных областей существенен также способ задания схемы. Сравнение векторного RAG, GraphRAG и поиска по онтологически построенным графам [5] показало преимущество графов, сохраняющих связь с текстовыми фрагментами, над векторным базовым вариантом. Онтология из реляционной схемы оказалась сопоставима с онтологией, из-

влечённой из текста, и требовала меньше повторных обращений к БЯМ. Тем самым явная схема может улучшать поиск, но её качество становится критическим фактором системы.

В образовательном сценарии наличие графа само по себе улучшения не гарантирует. На 477 парах «вопрос–ответ», привязанных к страницам университетского учебника математики, векторный RAG превзошёл GraphRAG по точности поиска страниц и F1 ответов [6]. Графовый подход нередко возвращал избыточный и нерелевантный контекст из-за сущностной структуры, что особенно чувствительно к ошибкам выделения и типизации сущностей и связей.

Поэтапная оценка уже применяется в GraphRAG-бенчмарках. В работе [7] авторы сравнили девять методов на материалах 16 дисциплин и 20 базовых учебников. Построение графа, поиск знаний, генерацию ответа и связность рассуждения они оценивали отдельно. Это существенно для текущего исследования, а именно для эксперимента: правильный ответ ещё не означает, что сам граф построен без ошибок.

Графовая версия RAGAS [8] построена похожим образом: она учитывает многошаговые связи и семантические сообщества. На экспертно размеченном подмножестве эти метрики лучше различали близкие по смыслу ответы. Работы [3–8] сходятся в одном: итоговой оценки для GraphRAG недостаточно. Поэтому в данном исследовании отдельно проверяются сущности, отношения и их типы.

3. Методология

3.1 Онтологически-управляемое построение графа

Единый набор классов для всех учебников в конвейере отсутствует. Онтология хранит профили предметных областей; для конкретной книги выбирается только нужная часть классов и отношений. Тот же профиль задаёт содержимое промптов и правила валидации. При смене предметной области конвейером обработки управляет выбранный профиль, программный код остаётся прежним, поэтому описание методологии приводится на основе выбранной для эксперимента предметной области «Математика».

Активный профиль «Математика» включает семь извлекаемых классов сущностей: Понятие, Теорема, Метод/Алгоритм, Формула, Пример, Задача, Персна. Структурный класс Глава используется как цель отношения DEFINED_IN. Словарь отношений содержит REQUIRES (транзитивное), PART_OF транзитивное), GENERALIZES, CONTRASTS_WITH, USES и DEFINED_IN. Направление каждого ребра задаётся от класса-источника к классу-цели; конкретные допустимые пары классов хранятся декларативно в профиле. Полный набор классов и типов отношений профиля, показан на рис. 1.

Конвейер построения графа состоит из следующих этапов:

1. Сначала PDF преобразуется локально в размеченный текст, без обращения к БЯМ; математические формулы при этом сохраняются. Затем документ делится по заголовкам глав. Длинная глава, которая не помещается в один промпт, разбивается на близкие по объёму фрагменты.

2. Дальше каждый фрагмент дважды передаётся БЯМ. Первый запрос выделяет сущности и возвращает цитаты из исходного текста, второй ищет отношения между уже найденными сущностями. Допустимые классы и пары «домен → диапазон» оба запроса получают из активного профиля.

3. Ответ модели конвейер сверяет с онтологией и текстом главы. Проверяется, входит ли тип в активный профиль, разрешена ли пара «источник → цель» и есть ли приведённая цитата в тексте. Связи с оценкой ниже установленного порога в граф не попадают.

4. Сущности, которые модель нашла в разных главах, объединяются только внутри одного онтологического типа. Близость наименований конвейер оценивает по эмбеддингам; сущности разных типов между собой не сравниваются.

5. В конце проверяются транзитивные отношения REQUIRES и PART_OF. Если в подграфе возникает цикл, конвейер удаляет ребро с наименьшей оценкой достоверности. После этого граф по-прежнему можно использовать, чтобы задавать порядок изучения материала.

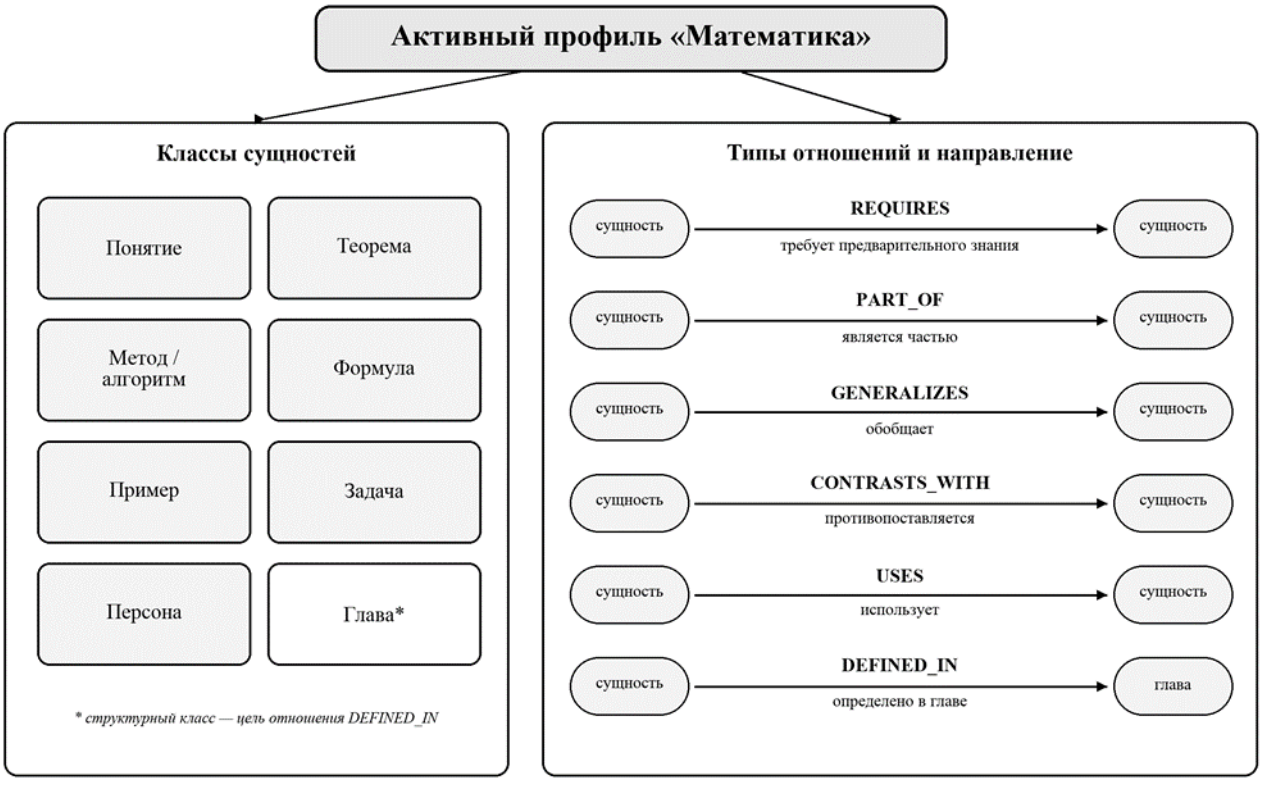


Рис. 1. Структура активного профиля «Математика»

3.2 Методика оценки качества графа

Экспертный эталон (gold standard) составлен вручную для одной главы. В него входят два набора: сущности как пары «нормализованное имя, тип» и отношения как тройки «источник, цель, тип». С этими наборами сопоставляется граф, который построил конвейер.

Сравниваются только элементы размеченной главы: относящиеся к ней сущности и инцидентные им рёбра. Объекты из остальных глав в расчёт не входят. Для сущностей и отношений отдельно подсчитываются истинно-положительные (TP), ложноположительные (FP) и ложноотрицательные (FN) элементы. По ним вычисляются точность (P), полнота (R) и F_1-мера:

$$P = \frac{TP}{TP + FP}, \quad R = \frac{TP}{TP + FN}, \quad F_1 = \frac{2PR}{P + R}.$$

Метрики рассчитываются дважды: для графа в целом и для каждого типа. Второй расчёт показывает, какие классы сущностей или отношений дали основную часть ошибок.

4. Эксперимент

4.1 Исходные данные

Для эксперимента был использован русскоязычный учебник: Чабан Л.Н. Практикум по дискретной математике. Москва: МИИГАиК, 2010, 94 с. После разбора с применением конвейера и профиля «Математика» было получено 14 глав. Полученный граф знаний всего учебника содержит 127 сущностей и 50 отношений.

Вручную была размечена глава об однородных отношениях, их свойствах и связанных алгебраических структурах: группоиде, полугруппе, моноиде, группе и поле. Материал изложен последовательно, поэтому границы понятий и связей удалось задать однозначно. Полученный экспертный эталон содержит 14 сущностей типа «понятие» и 21 отношение: 18 REQUIRES и 3 CONTRASTS_WITH.

4.2 Условия эксперимента

Граф извлекался через программный интерфейс, совместимый со стандартом OpenAI, при помощи модели gemini-3.1-flash-lite. При оценке были оставлены только сущности и рёбра размеченной главы, как описано в разделе 2.2. Перед сопоставлением в рамках предобработки текста имена были переведены в нижний регистр, урезаны пробелы.

Для каждой кандидатной связи модель возвращала нормированную оценку $c_{rel} \in [0; 1]$. Она была использована как внутренняя оценка уверенности, без статистической калибровки не проводили. Связь включалась в граф после проверки типа, пары «источник → цель» и цитаты из главы, если $c_{rel} \geq 0{,}70$. При меньшем значении кандидат отбрасывался.

Косинусная близость использовалась при устранении дубликатов сущностей. Нормализованные наименования векторизовались настроенной в конвейере моделью эмбеддингов, после чего для сущностей одного и того же онтологического типа вычислялась косинусная близость $s_{\cos} = \frac{u \cdot v}{\|u\| \cdot \|v\|}$. При $s_{cos} \geq 0{,}85$ кандидат связывался с уже существующим узлом; сравнение между разными типами не выполнялось. Оба значения задавались как фиксированные гиперпараметры и не оптимизировались по эталонной главе. Анализ чувствительности к порогам и фиксация версии эмбеддинг-модели были применены для дальнейшей проверки воспроизводимости.

5. Результаты и обсуждение

Таблица 1

Качество извлечения сущностей на размеченной главе

Тип сущностей	TP	FP	FN	P	R	F1
Понятие	14	0	0	1,000	1,000	1,000
Все типы	14	0	0	1,000	1,000	1,000

Таблица 2

Качество извлечения отношений на размеченной главе

Тип отношений	TP	FP	FN	P	R	F1
CONTRASTS_WITH	1	0	2	1,000	0,333	0,500
GENERALIZES	0	5	0	0,000	0,000	0,000
PART_OF	0	2	0	0,000	0,000	0,000
REQUIRES	0	0	18	0,000	0,000	0,000
Все типы	1	7	20	0,125	0,048	0,069

Результаты оценки качества графа приведены в табл. 1 (сущности) и табл. 2 (отношения). Извлечение сущностей достигло максимального качества: модель выделила ровно те 14 понятий, что и эксперт, без пропусков и ложных срабатываний (F_1 = 1,00). Это свидетельствует о том, что онтологически-управляемое типизированное извлечение обеспечивает высокую точность и полноту на уровне сущностей.

Качество типизированного извлечения отношений оказалось существенно ниже качества сущностей: для 21 эталонного отношения получены $TP = 1$, $FP = 7$ и $FN = 20$ ($F_1 = 0{,}069$). Поскольку система предсказала только восемь отношений, агрегированные значения показывают сочетание двух проблем – пропусков и неверных предсказаний. Даже если предположить максимально благоприятный случай, при котором все семь FP соединяют правильные пары сущностей, но имеют неверный тип, не менее 13 эталонных отношений остаются необнаруженными. Следовательно, по табл. 2 нельзя заключить, что ошибки вызваны только типизацией. Для такого вывода требуется дополнительная метрика совпадения пар сущностей без учёта метки отношения.

Вместе с тем разбор отдельных предсказаний выявил содержательную неоднозначность типов. Иерархические связи между алгебраическими структурами модель относила к GENERALIZES («обобщает») или PART_OF, тогда как эксперт использовал REQUIRES («для понимания требуется предварительное знание»). Эти метки могут описывать одну и ту же пару с разных точек зрения и иметь противоположное направление, поэтому недостаточно проверить сам факт связи – необходимо отдельно оценивать её тип и направление.

Разрыв между обнаружением пары сущностей и выбором метки описан и в исследованиях Relation Extraction [9]. БЯМ могли правильно выделять пары сущностей при семантически несоответствующей исходной метке отношения, а расширение и уточнение пространства меток повысило F1 на 9,55, 11,42 и 21,27 процентного пункта на SciERC, ACE05 и DuEE соответственно. В рассматриваемом эксперименте проявляется сходный разрыв между наличием содержательной связи и выбором онтологической метки, хотя высокая доля FN дополнительно указывает на неполноту обнаружения.

Проблема связана не только с поведением модели, но и с качеством эталонной разметки. Так, в ревизии в исследовании TACRED [10] более половины из 5000 наиболее сложных примеров потребовали изменения метки; ошибки аннотации объясняли 8 абсолютных пунктов F_1, а две группы неоднозначных отношений – большую часть оставшихся ошибок. Для отношений REQUIRES, GENERALIZES и PART_OF это означает необходимость операциональных определений, независимой разметки несколькими экспертами и расчёта межэкспертного согласия.

Разрыв между качеством извлечения сущностей и отношений заметен сразу. На размеченной главе модель без ошибок нашла все сущности (F_1 = 1,00), но пока это результат для одного фрагмента учебника. Насколько он устойчив, покажет проверка на других главах и предметных областях.

С извлечением отношений сложнее. Модель пропускала связи, путала их тип и направление. Поэтому следующая версия оценки должна отдельно считать совпадение пар сущностей без учёта типа: тогда ошибка обнаружения связи будет отделена от ошибки выбора метки. Понадобятся и более строгие определения REQUIRES, GENERALIZES и PART_OF с примерами и контрпримерами. Эталон также следует независимо разметить нескольким экспертам.

6. Заключение

В эксперименте онтология работала как схема конвейера, задавая классы сущностей, типы отношений, содержимое промптов и правила проверки ответа модели. Для применения конвейера к другой предметной области достаточно изменить профиль при сохранении методологии.

Качество графа проверялось на одной главе, отдельно для сущностей, отношений и их типов. На этой главе модель извлекла сущности без ошибок: F_1 = 1,00. Отношения оказались намного сложнее: F_1 = 0,07. Здесь смешаны пропуски связей и расхождения между REQUIRES, GENERALIZES и PART_OF; поэтому причиной нельзя считать только неверную типизацию. Исследования Relation Extraction указывают на ту же зависимость итогового F1 от границ между метками и качества разметки.

Очевидно, эксперимента над одной главой для вывода о переносимости недостаточно. Следующий этап исследования – расширить эталон и поручить нескольким экспертам независимо разметить новые главы, а затем оценить их согласие (IAA). Кроме того, в дальнейшем будут зафиксированы версии LLM, проверена чувствительность к порогам c_{rel} = 0,70, и s_{cos} = 0,85, применены метрики совпадения пар без учёта типа отношения.

Список литературы

1. Edge, D. From Local to Global: A Graph RAG Approach to Query-Focused Summarization / D. Edge, H. Trinh, N. Cheng et al. // arXiv preprint arXiv:2404.16130. – 2024. – DOI: 10.48550/arXiv.2404.16130.

2. Zhang, Q. A Survey of Graph Retrieval-Augmented Generation for Customized Large Language Models / Q. Zhang, S. Chen, Y. Bei et al. // arXiv preprint arXiv:2501.13958. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2501.13958.

3. Han, H. Retrieval-Augmented Generation with Graphs (GraphRAG) / H. Han, Y. Wang, H. Shomer et al. // arXiv preprint arXiv:2501.00309. – 2024. – DOI: 10.48550/arXiv.2501.00309.

4. Xiang, Z. When to Use Graphs in RAG: A Comprehensive Analysis for Graph Retrieval-Augmented Generation / Z. Xiang, C. Wu, Q. Zhang et al. // arXiv preprint arXiv:2506.05690. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2506.05690.

5. da Cruz, T. Ontology Learning and Knowledge Graph Construction: A Comparison of Approaches and Their Impact on RAG Performance / T. da Cruz, B. Tavares, F. Belo // arXiv preprint arXiv:2511.05991. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2511.05991.

6. Chen, E. Comparing RAG and GraphRAG for Page-Level Retrieval Question Answering on a Math Textbook / E. Chen, C. Li, S. Li et al. // arXiv preprint arXiv:2509.16780. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2509.16780.

7. Xiao, Y. GraphRAG-Bench: Challenging Domain-Specific Reasoning for Evaluating Graph Retrieval-Augmented Generation / Y. Xiao, J. Dong, C. Zhou et al. // arXiv preprint arXiv: 2506.02404. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2506.02404.

8. Dong, S. Knowledge-Graph Based RAG System Evaluation Framework / S. Dong, V. Zolfaghari, N. Petrovic, A. Knoll // arXiv preprint arXiv:2510.02549. – 2025. – DOI: 10.48550/arXiv.2510.02549.

9. Zhang, W. Unexpected Phenomenon: LLMs' Spurious Associations in Information Extraction / W. Zhang, W. Lu, J. Wang et al. // Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2024. – 2024. – P. 9176–9190. – DOI: 10.18653/v1/2024.findings-acl.545.

10. Alt, C. TACRED Revisited: A Thorough Evaluation of the TACRED Relation Extraction Task / C. Alt, A. Gabryszak, L. Hennig // Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. – 2020. – P. 1558–1569. – DOI: 10.18653/v1/2020.acl-main.142.

УДК 37:001.891.573

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ

Ахмадиева Р.Ш., д.пед.н., профессор, ректор;
E-mail: prector@kazgik.ru;
Гильмеева Р.Х., д.пед.н., профессор, заведующий лабораторией педагогического образования;
E-mail: rimma.prof@mail.ru;
Сахибуллин М.М., заведующий лабораторией по искусственному интеллекту ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия;
E-mail: msakhibullin24@gmail.com

USE OF METRIC SPACES FOR THE ANALYSIS AND PERSONALIZATION OF EDUCATIONAL TRAJECTORIES

Akhmadieva R.Sh., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Rector;
E-mail: prector@kazgik.ru;
Gilmeeva R.Kh., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Pedagogical Education;
E-mail: rimma.prof@mail.ru;
Sakhibullin M.M., Head of the Artificial Intelligence Laboratory, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia;
E-mail: msakhibullin24@gmail.com

Аннотация

Развитие цифровых платформ и методов искусственного интеллекта открывает беспрецедентные возможности для создания систем, способных подстраиваться под индивидуальные потребности, темп и стиль каждого обучающегося. Однако ключевой проблемой на этом пути остается разработка строгих и интерпретируемых математических моделей, которые могли бы адекватно описывать сложный и динамичный процесс усвоения знаний. Существующие подходы к векторному моделированию обучающихся и контента часто страдают от ряда недостатков. Авторы предлагают формализованный фреймворк, что определяет актуальность и научную новизну исследования. В целеполагании предполагается разработка и теоретическое обоснование математической модели образовательного процесса на основе векторных пространств, обеспечивающей эффективность адаптивных систем обучения. Основным методом исследования определено математическое моделирование. Предложенная динамическая модель, как считают авторы, позволяет перейти от статичного «снимка» профиля студента к отслеживанию его образовательной траектории, создавая основу для построения по-настоящему адаптивных рекомендательных систем.

Ключевые слова: машинное обучение, искусственный интеллект, линейная алгебра, матрицы, векторы, рекомендательные системы в образовании, метод опорных векторов, классификация

Abstract

The development of digital platforms and artificial intelligence methods opens up unprecedented opportunities for creating systems that can adapt to the individual needs, pace and learning style of each student. However, the development of rigorous and interpretable mathematical models that could adequately describe the complex and dynamic process of knowledge acquisition, remains a key challenge on this path. Existing approaches to vector modeling of learners and content often suffer from a number of shortcomings. The authors propose a formalized framework, which defines the relevance and scientific novelty of the research. The goal of this research is to develop and theoretically substantiate a mathematical model of the educational process based on vector spaces, ensuring the effectiveness of adaptive learning systems. Mathematical modeling is defined as the primary research method. The proposed dynamic model, in the authors' view, allows to move from a static «snapshot» of a student's profile to tracking his educational trajectory, thus laying the foundation for building truly adaptive recommender systems.

Keywords: machine learning, artificial intelligence, linear algebra, matrices, vectors, recommendation systems in education, support vector method, classification

Введение

В условиях перехода к персонализированному обучению возникает проблема отсутствия строгой математической основы для адаптивных образовательных систем. Существующим подходам к векторному моделированию обучающихся и контента присущи некоторые недостатки, такие как произвольный выбор метрик и игнорирование динамики учебного процесса. В статье предлагается формализованный фреймворк, систематизирующий применение аппарата метрических пространств для анализа и построения индивидуальных образовательных траекторий, что определяет актуальность и научную новизну исследования.

Цель

Разработка и теоретическое обоснование математической модели образовательного процесса на основе векторных пространств, способной повысить эффективность адаптивных систем обучения.

Ключевые задачи включают: формализацию многоаспектных векторов обучающегося и контента; сравнительный анализ и педагогическое обоснование применения различных метрик расстояния, а также разработку концепции динамической модели, описывающей эволюцию профиля обучающегося во времени.

Материалы и методы

Доминирующим методом исследования является математическое моделирование. Профили обучающихся и единицы учебного контента представляются в виде векторов в многомерном пространстве характеристик. Проводится сравнительный анализ применимости ключевых метрик – евклидовой, манхэттенской и косинусной – для оценки «расстояния» между векторами. Для описания изменения состояния обучающегося предложена динамическая модель, основанная на функции обновления его вектора после взаимодействия с учебным материалом ($S(t+1) = f(S(t), M, R)$).

Результаты исследования, обсуждения

Доказано, что выбор метрики является не техническим, а фундаментальным методологическим вопросом, непосредственно влияющим на педагогическую интерпретацию результатов. Установлено, что евклидово расстояние оптимально для оценки абсолютного разрыва в знаниях, тогда как косинусное сходство эффективно для определения совпадения стилей обучения или интересов, но неприменимо для оценки уровня компетенций.

Научная новизна исследования заключается не в самом факте применения векторов, а в систематическом анализе взаимосвязи между математическим аппаратом и его педагогической интерпретацией. В частности, в работе проводится критический анализ применимости различных метрик, предлагается концепция динамической модели, описывающей эволюцию вектора обучающегося, и формулируются требования к данным для экспериментальной проверки предложенных методов.

В современной образовательной парадигме наблюдается устойчивый сдвиг от унифицированного подхода «один для всех» к персонализированным и адаптивным моделям обучения. Одним из наиболее перспективных подходов к решению этой задачи является представление обучающихся и образовательных материалов в виде векторов в многомерном метрическом пространстве. Такой подход позволяет применять мощный аппарат линейной алгебры для анализа сходства, вычисления «разрывов в знаниях» и построения оптимальных образовательных траекторий. Тем не менее, простое применение этой концепции зачастую лишено необходимой математической и педагогической строгости, что приводит к ряду методологических проблем. Во-первых, векторы формируются из разнородных и многоаспектных данных (успешность, скорость, предпочтения), что создает неоднозначность в их интерпретации. Во-вторых, выбор метрики расстояния (евклидовой, косинусной и др.) часто произволен и не имеет достаточного педагогического обоснования, хотя именно он определяет, какие аспекты сходства или различия будут подчеркнуты. В-третьих, большинство моделей игнорируют динамическую природу обучения, рассматривая вектор студента как статичный объект, в то время как он непрерывно изменяется под воздействием учебного процесса. Настоящая работа направлена на преодоление указанных ограничений путем разработки формализованного фреймворка для векторного моделирования образовательного процесса.

Для достижения поставленной цели данного исследования по разработке и обоснованию математической модели образовательного процесса на основе векторных пространств, пригодной для построения эффективных адаптивных систем обучения необходимо решить следующие задачи:

1. Формализовать представление профиля обучающегося и единицы учебного контента в виде многоаспектных векторов на основе гетерогенных данных.

2. Провести сравнительный анализ и обосновать применение различных метрик (евклидовой, манхэттенской, косинусной) для оценки «расстояния» между векторами в педагогическом контексте.

3. Разработать концептуальную динамическую модель, описывающую изменение вектора обучающегося во времени в зависимости от его взаимодействия с учебным материалом.

4. Предложить методологию для проектирования эксперимента и валидации эффективности предложенных моделей на реальных образовательных данных.

Для применения математического аппарата к педагогическим задачам необходимо сперва формализовать ключевые сущности – обучающегося и учебный материал – в виде математических объектов. В рамках данного исследования мы предлагаем представить их в виде векторов в N-мерном пространстве характеристик, где каждая координата (ось) отражает определенный измеримый аспект образовательного процесса.

Визуально такое пространство можно представить как систему координат, где каждая точка соответствует уникальному состоянию объекта. Хотя для наглядности мы используем трехмерное пространство, в реальных задачах размерность N может достигать сотен и тысяч, охватывая все значимые характеристики, что наглядно представлено на рисунке 1. Также можно отследить визуализацию многомерного пространства характеристик на примере 3D-системы координат, где каждая точка в этом пространстве может представлять собой вектор студента или учебного материала.

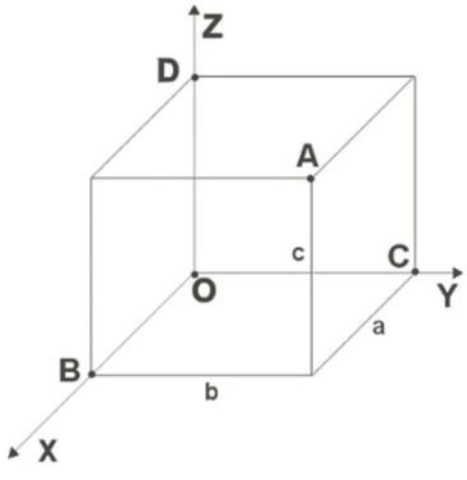


Рис. 1. Вид трехмерного пространства

Вектор обучающегося S – это упорядоченный набор числовых значений, описывающий его текущее состояние. Этот вектор формируется на основе разнородных и многоаспектных данных [1], что делает его комплексным и информативным представлением. Каждая координата вектора s_i имеет собственную семантику:

$$S = [s_1, s_2, ..., s_k, s_{k+1}, s_{k+2}, ... s_n],$$

где:

$s_1...s_k$ – уровень владения темами: Координаты, отражающие успеваемость по k ключевым темам курса (например, процент правильных ответов в тестах, оценка за практическую работу).

s_{k+1} – скорость усвоения: Нормализованный показатель времени, затрачиваемого студентом на изучение материалов, по сравнению со средним значением по группе.

$s_{k+2}...s_{k+m}$ – предпочтительные форматы обучения: Блок координат, закодированных с помощью метода One-Hot Encoding, где 1 в соответствующей позиции означает предпочтение (или частое использование) видеолекций, текстов, интерактивных тренажеров и т.д.

s_n – уровень когнитивной нагрузки: субъективная оценка сложности материала, оставленная студентом, или объективный показатель, вычисленный на основе биометрических данных.

Таким образом, вектор S является гетерогенным, объединяя объективные метрики успеваемости, поведенческие характеристики и субъективные оценки.

Аналогично вектору студента, каждая единица учебного контента (лекция, тест, задача) представляется вектором M в том же N-мерном пространстве:

$$M = [m_1, m_2, ..., m_k, m_{k+1}, m_{k+2}, ... m_n],$$

где: $m_1...m_k$ – тематическая принадлежность: координаты, указывающие, какие из k тем раскрываются в данном материале; m_{k+1} – сложность материала: экспертная оценка или вычисленный на основе статистики прохождений уровень сложности; $m_{k+2}...m_{k+m}$ – формат контента: кодировка типа материала (видео, текст, тест), соответствующая координатам вектора студента; m_n – ожидаемое время на освоение: нормализованное время, необходимое для работы с материалом.

Такая формализация позволяет перейти от абстрактных описаний к количественным сравнениям, основу которых составляет понятие «расстояния» между векторами.

Анализ метрических пространств в образовательном контексте. После того как студент и учебный материал представлены точками в многомерном пространстве, ключевой задачей становится измерение «расстояния» или «близости» между ними. Это расстояние является математической основой для принятия педагогических решений: рекомендовать студенту S материал M, если расстояние d(S, M) минимально, или, наоборот, предложить материал, который находится на оптимальном «расстоянии вызова», чтобы стимулировать развитие. Выбор метрики не является технической формальностью – он коренным образом влияет на результат и его педагогическую интерпретацию. Различные метрики подчеркивают разные аспекты сходства и различия, так на рис. 2, представлена визуализация различных метрик расстояния и сходства, где выбор метрики определяет, как будет измеряться близость между объектами.

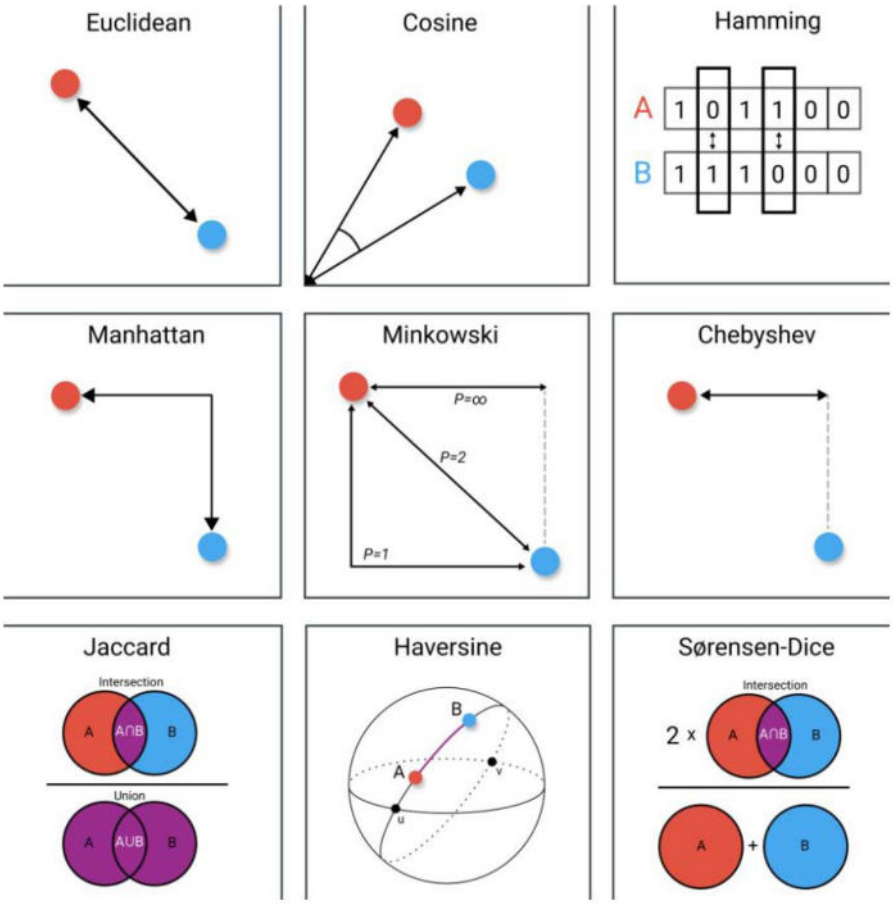


Рис. 2. Демонстрация видов расстояния, их параметрические виды

Рассмотрим наиболее релевантные для образовательных задач метрики:

– евклидово расстояние (Euclidean): $d(S, M) = sqrt(\Sigma(s_i - m_i)^2)$ [2]. Эта метрика измеряет «прямолинейное» расстояние между двумя точками. В педагогическом контексте она наилуч-

шим образом отражает абсолютный разрыв в знаниях и навыках. Чем больше расстояние, тем сильнее студент отстает от требуемого уровня или наоборот – превосходит его.

– манхэттенское расстояние ($d(S, M) = \Sigma|s_i - m_i|$. Известное как «расстояние городских кварталов», оно суммирует абсолютные различия по каждой координате. Эта метрика менее чувствительна к сильным выбросам по одной характеристике и может быть полезна для комплексной оценки общего несоответствия профилей.

– косинусное расстояние ($1 - (S \cdot M) / (||S|| * ||M||)$. В отличие от предыдущих, эта метрика измеряет не магнитуду различий, а сходство направлений векторов. Именно здесь кроется методологическая ловушка, отмеченная рецензентом. Например, вектор новичка $S_1 = [0.1, 0.2]$ и вектор эксперта $S_2 = [0.8, 1.6]$ будут почти коллинеарными, и косинусное расстояние между ними будет близко к нулю, создавая иллюзию «близости». Однако евклидово расстояние покажет огромный разрыв в знаниях. Вывод: косинусная метрика неприменима для оценки уровня знаний, но может быть чрезвычайно полезна для определения сходства стилей обучения или профилей интересов, где важна не абсолютная успеваемость, а структура предпочтений.

Таким образом, для задачи подбора материала по уровню сложности следует использовать евклидово расстояние, а для рекомендации контента, соответствующего стилю студента, косинусное.

Динамическая модель обучения. Статичные векторные модели, описанные выше, позволяют получить «моментальный снимок» состояния обучающегося, но не учитывают ключевой аспект образовательного процесса, его динамику. Вектор студента не является константой; он непрерывно изменяется (эволюционирует) под влиянием взаимодействия с учебным материалом.

Мы предлагаем рассматривать процесс обучения как последовательность состояний, где переход от одного состояния к другому описывается функцией обновления:

$$S(t+1) = f(S(t), M, R),$$

где: $S(t)$ – вектор студента в момент времени t; M – вектор учебного материала, с которым студент взаимодействовал; R – результат взаимодействия (например, оценка за тест); $S(t+1)$ – новый вектор студента после взаимодействия.

Конкретная реализация функции f заключается в «смещении» вектора студента $S(t)$ в направлении вектора материала M с учетом результата R. Например, для координаты успеваемости по теме i:

$$s_i(t+1) = s_i(t) + \alpha * (R_i - s_i(t)).$$

Здесь α – это параметр скорости обучения (learning rate). Этот процесс трансформации вектора студента можно сравнить с аффинными преобразованиями в компьютерном зрении, где к векторам, описывающим изображение, применяются операции сдвига, поворота и масштабирования (изображение 3). В нашей модели успешное изучение материала действует как оператор преобразования, [3] который «сдвигает» вектор студента в пространстве знаний. На рис. 3 представлены примеры аналогии с аффинными преобразованиями в компьютерном зрении, в которых вектор студента трансформируется в процессе обучения.

Проектирование эксперимента и анализ данных. Представленные концептуальные идеи требуют обязательной экспериментальной проверки на реальных данных. Ниже представлена методология для проведения такой валидации. Для проверки модели необходим датасет, содержащий логи взаимодействия пользователей с образовательной платформой. На основе сырых логов формируются векторы S и M для каждого студента и учебного материала. В качестве основной задачи для проверки можно выбрать задачу рекомендации следующего учебного элемента. Эффективность модели можно оценить с помощью алгоритмов, работающих в метрических пространствах, например, k-ближайших соседей (k-NN). Этот метод по-

зволяет находить студентов с похожими профилями знаний для формирования рекомендаций. На рис. 4 представлен принцип работы алгоритма k-NN, где для целевого объекта (серый) находятся k ближайших соседей для принятия решения [4].

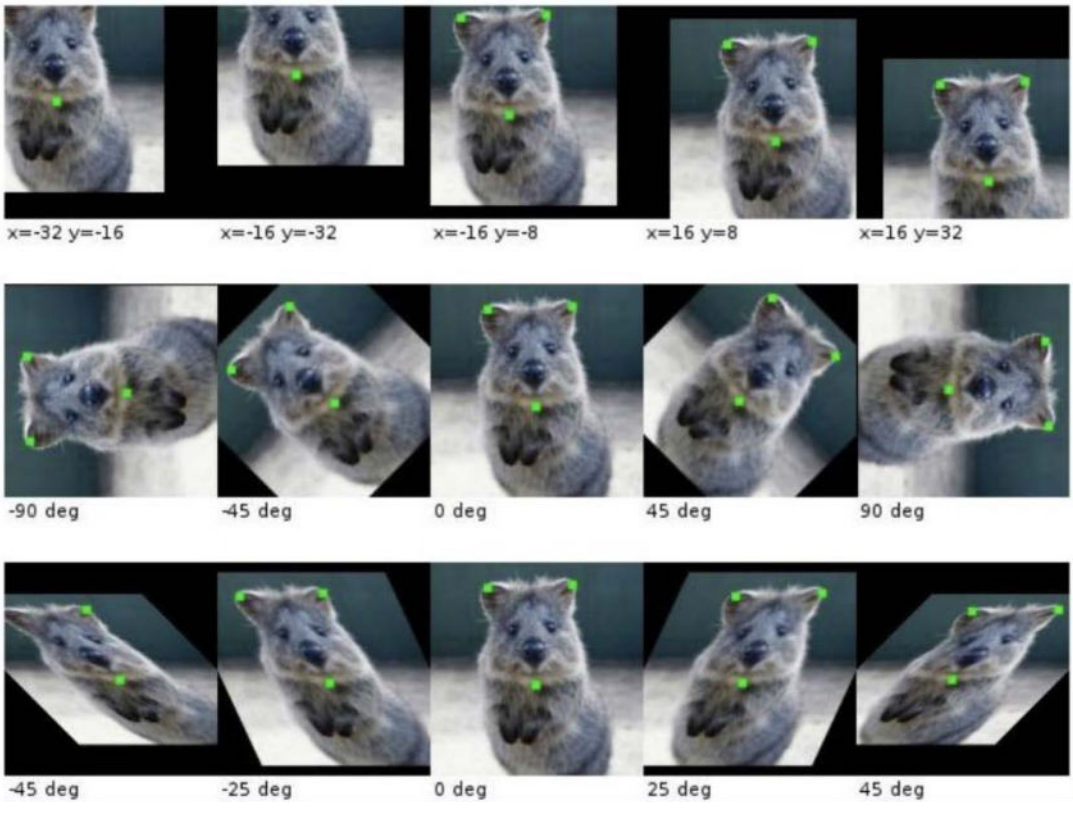


Рис. 3. Демонстрация аффинного преобразования

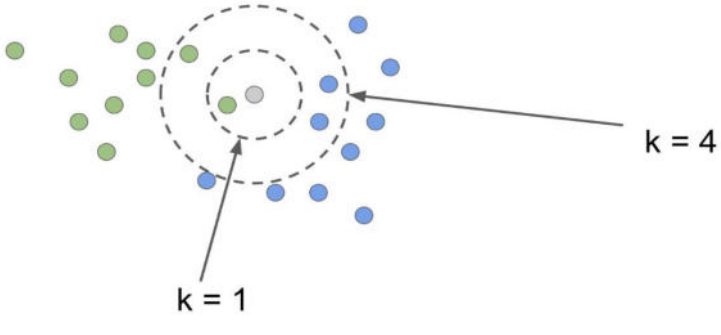


Рис. 4. Демонстрация метода ближайшего соседа KNN

Ключевым этапом эксперимента является сравнение качества рекомендаций, полученных с использованием разных метрик (евклидовой, косинусной). Качество можно измерять с помощью стандартных метрик, таких как Precision.

Ожидается, что эксперимент подтвердит гипотезу о том, что не существует одной «лучшей» метрики для всех задач. Модели, использующие евклидово расстояние, предположительно покажут более высокую точность в задачах прогнозирования абсолютного уровня знаний. Модели на основе косинусного сходства окажутся эффективнее для задач подбора материалов по стилю или профилю интересов.

В данной работе был представлен формализованный фреймворк для моделирования образовательного процесса на основе векторных представлений. Были решены следующие задачи: предложены структуры для многоаспектных векторов студента и учебного материа-

ла; проведен критический анализ применения различных метрик расстояния, показавший их прямое влияние на педагогические выводы; описана концепция динамической модели, учитывающей эволюцию профиля студента.

Ключевым выводом является то, что выбор метрики – это не технический, а методологический вопрос, требующий педагогического обоснования. Дальнейшие исследования должны быть направлены на практическую реализацию предложенной модели на реальной образовательной платформе, исследование более сложных функций обновления векторов и изучение гибридных метрик, сочетающих преимущества различных подходов.

Список литературы

1. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, Й. Бенджио, А. Курвилль ; перевод с английского А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 652 с.

2. Ильин, В. А. Линейная алгебра / В. А. Ильин, Э. Г. Позняк. – 6-е изд., стер. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 280 с

3. Baker, R. S. Educational Data Mining: An Introduction / R. S. Baker. – MIT Press.

4. Brusilovsky, P. Adaptive Hypermedia for Education // Intelligent Tutoring Systems: An Overview / P. Brusilovsky ; ed. by R. C. Murray, S. Blessing, S. Ainsworth. – Psychology Press, 2012. – P. 46-66.

УДК 778.5:004.8

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ФАКТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ КИНОПРОИЗВОДСТВА: ОТ АВТОРСКОГО К ИНДУСТРИАЛЬНОМУ ИЗМЕРЕНИЮ

Ахметов А., ведущий специалист центра прототипирования ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS FACTORS OF FILM PRODUCTION TRANSFORMATION: FROM AUTEUR TO INDUSTRIAL DIMENSION

Akhmetov A., leading specialist of the prototyping center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State Institute of Culture", Kazan, Russia

Аннотация

Статья исследует воздействие цифровых технологий и технологий с применением искусственного интеллекта на современное кинопроизводство в его авторском и индустриальном измерениях. На основе анализа актуальных научных публикаций и практических кейсов систематизированы ключевые направления технологических изменений, охватывающих все стадии производственного цикла – от разработки концепции до дистрибуции готового продукта. Особое внимание уделено двойственной природе технологизации кинематографа: с одной стороны, цифровые инструменты демократизируют производство, снижая порог вхождения для независимых авторов; с другой – создают риск технологического детерминизма, подавляющего оригинальность авторского замысла. Исследование устанавливает, что эффективность применения современных технологических решений в кино прямо коррелирует со степенью технологической грамотности создателей контента и их готовностью к синтезу художественных и технических компетенций. Формулируется вывод о необходимости формирования комплексного подхода к технологическому оснащению кинопроектов, при кото-

ром цифровые инструменты выступают не самоцелью, а средством реализации художественного замысла.

Ключевые слова: кинопроизводство, цифровая трансформация, искусственный интеллект, нейронные сети, независимое кино, визуальные эффекты, аудиовизуальный контент, скринлайф, медиатехнологии

Abstract

The article investigates the impact of digital technologies and artificial intelligence on modern film production in its auteur and industrial dimensions. Based on an analysis of current scholarly publications and practical cases, key directions of technological change covering all stages of the production cycle – from concept development to distribution – have been systematized. Special attention is paid to the dual nature of cinema's technologization: on the one hand, digital tools democratize production by lowering the entry threshold for independent authors; on the other, they create the risk of technological determinism suppressing the originality of the auteur's concept. The study establishes that the effectiveness of modern technological solutions in cinema directly correlates with the degree of technological literacy of content creators and their readiness to synthesize artistic and technical competencies. A conclusion is drawn about the need for a comprehensive approach to the technological equipment of film projects, in which digital tools act not as an end in themselves, but as a means of realizing an artistic intention.

Keywords: film production, digital transformation, artificial intelligence, neural networks, independent cinema, visual effects, audiovisual content, screenlife, media technologies

Введение

Современная киноиндустрия переживает период радикальной технологической трансформации, масштаб которой сопоставим лишь с переходом от немого к звуковому кино или от плёночных носителей к цифровым. Стремительное развитие искусственного интеллекта, облачных вычислений, технологий захвата движения и генеративных нейронных сетей коренным образом меняет не только инструментарий кинематографиста, но и саму природу кино как медиума [1]. При этом данные процессы затрагивают отрасль в целом – от крупных студийных блокбастеров до малобюджетных авторских проектов.

Ключевая проблема, которую данное исследование ставит в центр рассмотрения, состоит в неравномерности освоения технологических инноваций различными секторами кинематографа. Если крупный индустриальный кинематограф располагает ресурсами для планомерного внедрения передовых разработок, то независимые режиссёры и продюсеры зачастую оказываются перед выбором: ограничиться минимальным набором доступных инструментов либо искать нестандартные технологические решения, компенсирующие бюджетные ограничения. Между тем именно независимое кино традиционно служит лабораторией для художественных экспериментов, питающих всю отрасль [19].

Дополнительную остроту данной проблематике придаёт то обстоятельство, что академическое киноведение в значительной мере остаётся в стороне от осмысления производственно-технологических аспектов кинематографа. Исследовательский фокус по-прежнему сосредоточен на художественных характеристиках завершённых произведений, тогда как технологические практики крайне редко становятся предметом самостоятельного научного дискурса [19]. Этот разрыв между производственной реальностью и её теоретическим осмыслением снижает прикладную ценность кинематографических исследований и ограничивает возможности выстраивания полноценного профессионального диалога между авторами, продюсерами и критиками.

Целью настоящей статьи является комплексный анализ влияния цифровых технологий и ИИ-решений на кинопроизводство, включая оценку как ставших стандартными инстру-

ментов, так и новейших разработок, лишь начинающих проникать в отрасль. В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи: систематизировать этапы внедрения ИИ-технологий в производственный цикл создания фильма; охарактеризовать специфику применения цифровых инструментов в условиях малобюджетного независимого кинопроизводства; выявить барьеры и стимулы технологической интеграции; обозначить перспективные направления развития данной сферы.

Для достижения поставленных задач в исследовании применяется комплекс взаимодополняющих методологических подходов. Системный анализ позволяет рассматривать кинопроизводство как многоуровневую систему, каждый элемент которой испытывает воздействие цифровой трансформации. Посредством сравнительно-сопоставительного метода устанавливаются точки сходства и расхождения между технологическими практиками крупных студий и независимых кинематографистов – в том числе с привлечением международного опыта для выявления ориентиров дальнейшего развития отечественной индустрии. Метод структурно-функционального анализа применяется для оценки роли конкретных технологических решений на различных этапах производственного цикла.

Существенную роль в исследовании играет рационалистический подход в оценке технологий: полезность тех или иных инструментов рассматривается не абстрактно, а с учётом реального контекста их применения – прежде всего доступности, стоимости освоения и возможности интеграции в условиях ограниченного производственного бюджета [19]. Источниковой базой послужили научные публикации в области кинематографии, медиаисследований и информационных технологий, а также практические кейсы применения цифровых инструментов в отечественном и зарубежном кино.

В ходе исследования хронологически купируется период последних трёх десятилетий – временной интервал, за который цифровые технологии претерпели наиболее радикальные изменения. Это соответствует периоду становления постсоветского независимого кинематографа, создавшего питательную среду для художественных экспериментов [19].

Результаты исследования

Цифровая трансформация как системный феномен аудиовизуальной индустрии

Цифровая трансформация аудиовизуальной индустрии представляет собой многогранный процесс, в основе которого лежит конвергенция нескольких независимых технологических прорывов: развитие высокопроизводительных вычислительных систем, облачных платформ, машинного обучения, а также принципиальные изменения в области цифровых камер и постпродакшн-оборудования [21]. Синергия этих факторов привела к тому, что стоимость производства качественного аудиовизуального контента неуклонно снижается, тогда как творческие возможности авторов неизмеримо расширяются.

Параллельно трансформируется и потребительская среда. Широкое распространение стриминговых платформ (Netflix, Amazon Prime Video, Disney+, Okko), мобильных устройств и высокоскоростного интернета изменило механизмы дистрибуции и потребления кино. Зрители ожидают мгновенного доступа к контенту и персонализированных рекомендаций [15], что влечёт изменение финансовых моделей: краудфандинг и стриминговые подписки открывают новые возможности для независимых проектов [11]. Формируется замкнутый цикл, в котором рекомендательные алгоритмы стриминговых платформ, анализирующие поведенческие паттерны миллионов пользователей, не только персонализируют опыт потребления контента, но и оказывают обратное воздействие на решения о запуске новых производственных проектов [20].

Важно понимать, что цифровая трансформация не является однородным процессом: различные секторы кинематографа осваивают новые технологии с разной скоростью и глубиной. Крупные студии обладают ресурсами для инвестиций в дорогостоящие инновации, тогда как независимые производители вынуждены искать баланс между художественными амбициями и финансовыми ограничениями [3]. Именно этот дисбаланс нередко создаёт простран-

ство для оригинальных авторских решений, которые оказываются более продуктивными в художественном отношении, чем громоздкие технологические аппараты крупных постановок.

Технологии искусственного интеллекта на предпроизводственном этапе

Предпроизводственный этап, традиционно считавшийся наиболее творчески насыщенным и наименее поддающимся технологической формализации, сегодня переживает существенные изменения под воздействием алгоритмических решений [20]. Нейросетевые инструменты анализа сценарных данных, выявляющие паттерны успешных нарративных структур, уже активно применяются крупными производственными компаниями при отборе проектов для инвестирования. Системы типа ScriptBook, Dramatify и Cinelytic позволяют оценивать коммерческий потенциал сценариев ещё до начала производства, переводя принятие ключевых решений из интуитивной в аналитическую плоскость [20].

Параллельно развиваются инструменты, способные не только анализировать, но и генерировать сценарный материал. Генеративные языковые модели способны предлагать альтернативные сюжетные повороты, варианты диалогов или целые структурные решения [21]. Это неизбежно поднимает вопрос о природе авторства и пределах делегирования творческой функции машинным алгоритмам. Показательно, что ещё в 2018 году искусственный интеллект под именем Бенджамин выступил сценаристом и режиссёром короткометражного фильма Zone Out, представленного на Лондонском международном фестивале фантастического кино. При этом нейронная сеть осуществляла «подстановку лиц и генерирование голоса», помещая образы актёров на вымышленных персонажей и соединяя диалоги аудиоверсии сценария с соответствующими кадрами [22]. Подобный опыт свидетельствует как о принципиальной реализуемости ИИ-режиссуры, так и о её очевидных ограничениях в части художественной убедительности.

Вместе с тем существующий уровень развития нейросетей, специализирующихся на обработке и генерации художественных текстов, пока недостаточен для создания полноценной сценарной речи, органично передающей индивидуальность персонажей, их этническую идентичность и когнитивные привычки [20]. Это подтверждает тезис о том, что ИИ на предпроизводственном этапе выступает скорее вспомогательным инструментом, нежели самостоятельным творческим агентом. Независимый кинематографист при этом получает в распоряжение мощный аналитический арсенал, не утрачивая контроля над художественной концепцией.

Не менее значимы изменения в области кастинга: системы компьютерного зрения позволяют анализировать визуальные и аудиальные характеристики исполнителей, сопоставляя требования к ролям с востребованностью актёра в медиапространстве. Технологии «цифрового омоложения» и так называемого «воскрешения» открывают возможности для работы с образами, ранее считавшимися технологически нереализуемыми [20], что принципиально расширяет пространство авторского замысла.

Производственный этап: трансформация съёмочного процесса

Изменения на съёмочной площадке, обусловленные цифровой трансформацией, столь же значительны, как и в области предпроизводства. Современные цифровые кинокамеры профессионального класса (ARRI Alexa, RED, Sony Venice) обеспечивают качество изображения, сопоставимое с плёночным, а в ряде аспектов превосходящее его [21]. Для независимого кино принципиально важна демократизация производственного инструментария: доступность камер уровня Canon EOS-1D X, позволяющих снимать полнометражные игровые и документальные проекты с высоким художественным результатом, означает кардинальное снижение порога вхождения в профессию [19]. Именно подобная техника использовалась, в частности, при создании оскароносного документального фильма Netflix «Икар» (Icarus, 2017), что наглядно демонстрирует: уровень оборудования не является синонимом качества итогового продукта.

Параллельно развиваются технологии виртуального производства. Игровые движки реального времени (Unreal Engine, Unity) позволяют создавать фотореалистичные трёхмерные пространства на основе ограниченного числа исходных изображений, перенося часть де-

кораций в цифровую среду. Такой подход радикально меняет логику организации съёмочного процесса: значительная часть локаций, требовавших ранее дорогостоящего строительства или экспедиционных бюджетов, воссоздаётся в студийных условиях с применением LED-экранов и систем виртуальных декораций [21]. Результатом становится не только экономия ресурсов, но и принципиально новые возможности для изобразительного решения фильма.

Технологии захвата движения (Motion Capture) обеспечивают точный перенос актёрских данных на цифровых персонажей, расширяя диапазон художественных средств. Современные системы Mo-cap стали более компактными и доступными, что открывает их применение для независимых проектов [21]. В контексте независимого кино особого внимания заслуживают смартфоны как съёмочный инструмент: возможности современных мобильных камер позволяют снимать на них полнометражные игровые фильмы без потери художественного качества [19], а сама форма подобной записи нередко наделяет произведение особой эстетической интонацией – непосредственностью и достоверностью, труднодостижимой при использовании громоздкого профессионального оборудования.

Постпроизводство: искусственный интеллект как инструмент художественной выразительности

Постпроизводственный этап является на сегодняшний день наиболее технологически насыщенным, и именно здесь технологии с применением искусственного интеллекта прошли наибольший путь операционного совершенствования [20]. Автоматизированные системы монтажа, способные анализировать эмоциональную динамику сцен и предлагать оптимальные монтажные решения, алгоритмы цветокоррекции, обученные на базах данных признанной кинематографической классики, нейросетевые инструменты работы с визуальными эффектами – всё это уже доступная производственная реальность [6].

Программное обеспечение для монтажа (Adobe Premiere Pro, Final Cut Pro, DaVinci Resolve) интегрирует ИИ-функционал, ускоряющий рутинные операции: черновой монтаж на основе аудиографа, автоматическое выравнивание синхрозвука, шумоподавление, коррекция стабилизации [21]. Как справедливо замечает Е. Васильева, современный кинематограф всё решительнее совершает переход к цифровым технологиям как основе своей изобразительно-постановочной системы [9], а само понятие «спецэффект» охватывает сегодня принципиально иной круг операций, нежели прежде. Нейросетевые алгоритмы глубокого обучения применяются для генерации реалистичных текстур, моделирования физических взаимодействий и анимации персонажей, существенно сокращая временные и финансовые затраты на производство сложных визуальных решений [6].

Заслуживает отдельного рассмотрения практика нестандартных постановочных решений, позволяющих достигать выразительных эффектов при минимальных бюджетах. Режиссёр Даррен Аронофски в фильме «Фонтан» (The Fountain, 2006) использовал макросъёмку химических реакций в чашке Петри, добившись фантастических пространственных образов без применения компьютерной графики [19]. Этот пример наглядно подтверждает, что технологическая изобретательность и авторская фантазия способны компенсировать ограниченность ресурсов – и нередко порождают художественные эффекты большей силы, чем достигаемые индустриальными средствами. Цифровые инструменты постпродакшна, таким образом, выступают расширением, но отнюдь не заменой режиссёрского мышления.

Для работы со звуком цифровые звуковые рабочие станции (DAW – Pro Tools, Logic Pro X) предоставляют широчайшие возможности для записи, обработки и микширования. Использование виртуальных инструментов и технологий объёмного звучания позволяет создавать реалистичные звуковые окружения, ранее требовавшие значительных студийных ресурсов [21].

Новые форматы и нарративные возможности цифровой эпохи

Цифровая трансформация не только совершенствует существующие технологические практики, но и порождает принципиально новые кинематографические форматы. Наиболее

ярким примером является «скринлайф» (screenlife) – жанр, в котором действие разворачивается исключительно на экранах компьютеров и смартфонов персонажей [8]. Этот формат является одновременно следствием цифровизации социальной жизни и инструментом художественного исследования её последствий. Принципиально важно, что технологические ограничения скринлайфа (съёмка ведётся исключительно с помощью устройств, используемых героями) оборачиваются особой художественной интонацией – достоверностью медиатизированного опыта [8]. По сообщениям многих причастных к созданию подобных картин, одним из главных преимуществ формата является возможность снять фильм с минимальным бюджетом без потери качества [19].

Параллельно развиваются нарративные конструкции, использующие возможности искусственного интеллекта для решения ранее недостижимых задач. Нейросеть, конвертирующая статичные изображения из двухмерного в трёхмерное пространство, открывает возможности как для игровых фильмов (эффекты работы с фоном или оживающим изображением), так и для документального кино – придать объём хроникальным снимкам и органично интегрировать их в видеоряд [19]. Генеративные инструменты создания изображений сегодня активно используются художниками и дизайнерами, однако их потенциал в независимом кинематографе остаётся существенно недооценённым. Список подобных инструментов продолжает расширяться: нейросети для раскрашивания архивных фотографий, генерации реалистичных лиц несуществующих людей, синтеза речи разными голосами, автоматического повышения разрешения изображений – каждая из них открывает перед независимыми кинематографистами возможность экономичного решения производственных задач, требовавших прежде значительных ресурсных вложений [19].

Барьеры и стимулы интеграции ИИ-технологий в кинопроизводство

Несмотря на очевидный потенциал технологий с применением искусственного интеллекта, их реальное проникновение в отечественное кинопроизводство сопряжено с рядом существенных препятствий системного характера [20]. Технологический барьер связан с нехваткой специализированных ИИ-решений, адаптированных к специфике кинопроизводства и культурной традиции отечественного кино. Экономический барьер определяется ограниченностью инвестиционных ресурсов и слабым развитием финансовых инструментов поддержки технологических инноваций в отрасли.

Кадровый барьер представляется наиболее серьёзным: отрасль испытывает значительный дефицит специалистов, сочетающих компетенции в области информационных технологий и кинопроизводства [7]. Формирование новых профессиональных профилей – специалистов по взаимодействию с ИИ-системами, кураторов нейросетевых решений, менеджеров производственных данных – требует коренного пересмотра образовательных программ в профильных вузах [18]. Регуляторный барьер отражает неразвитость нормативной базы в части применения ИИ в области авторского права и интеллектуальной собственности [20].

Вместе с тем, как показывают исследования, применение ИИ-инструментов способно существенно сократить производственные затраты без снижения творческого уровня проекта [4], что создаёт реальные экономические стимулы для технологической модернизации. Богатая традиция отечественной кинематографической школы, ориентированной на приоритет художественного содержания над технологической формой, является при этом подлинным стратегическим активом: у отечественного кинематографа есть возможность избежать ошибок первопроходцев и сформировать сбалансированный подход к интеграции ИИ, учитывающий не только экономические, но и культурные аспекты [20].

Нельзя обходить стороной культурный барьер – консерватизм части творческого сообщества, воспринимающего технологические инновации как угрозу художественной идентичности профессии. Преодоление этого сопротивления требует целенаправленной демонстрации успешных кейсов применения ИИ-инструментов в производстве высокохудожественных проектов. Продуктивное взаимодействие творца и машинного алгоритма не предполагает

конкуренции, в которой один вытесняет другого: речь идёт о симбиозе, расширяющем художественный потенциал кинопроекта [19].

Независимое кино в контексте технологической демократизации

Независимый кинематограф всегда существовал в условиях ресурсных ограничений, вынуждавших его создателей искать нестандартные творческие и технические решения. Именно это обстоятельство обусловило высокую восприимчивость независимого кино к технологическим инновациям: цифровые инструменты нередко позволяли реализовывать замыслы, ранее недостижимые в рамках малого бюджета. Принципиальное удешевление средств производства меняет само понятие порога вхождения в отрасль [10]. Как демонстрирует опыт ряда национальных кинематографий, творческие и технические достижения независимых авторов – вынужденных компенсировать скудость ресурсов силой художественного замысла – свидетельствуют о том, что финансовые ограничения отнюдь не являются непреодолимым препятствием для создания полноценных авторских высказываний [19; 23].

Доступность монтажных комплексов профессионального класса на персональных компьютерах, инструментов создания визуальных эффектов, ранее требовавших ресурсов крупных студий, платформ для прямой дистрибуции, устраняющих зависимость от традиционных прокатных схем, – всё это открывает независимым кинематографистам качественно новые возможности. При этом доступность инструментов и относительная простота их освоения создают определённые риски: технологическое оснащение может порождать иллюзию, что оно само по себе обеспечивает художественный результат.

Критический взгляд на историю кино неизменно подтверждает обратное. Я. Климов справедливо указывает, что современное кино переживает кризис идей, стремящихся компенсировать недостаток оригинальности эффектной визуальной формой [10], – и именно на этот вызов независимый кинематограф обязан отвечать не технологическим, а художественным образом. Трансформация медиапространства оказывает существенное влияние на формы потребления кинематографического контента [13; 17]. Развитие стриминговых платформ создаёт для независимого кино принципиально новый контекст: впервые оно получает шанс обрести широкую аудиторию без прохождения через традиционные прокатные механизмы, что меняет не только экономику независимого производства, но и логику замысла [21].

Развитие цифровых коммуникаций при этом трансформирует и профессиональную культуру участников кинопроцесса [14]: новое поколение кинематографистов формируется в среде, где технологическая грамотность является органичной частью профессиональной компетенции, а не отдельной специализацией. Это создаёт предпосылки для более органичного синтеза художественного и технического начал – синтеза, в котором заключён, по всей видимости, главный потенциал развития как независимого, так и большого кино [16; 18].

Проведённое исследование позволяет сформулировать ряд принципиальных выводов. Цифровая трансформация кинопроизводства носит системный характер и охватывает все звенья производственного цикла – от разработки концепции до дистрибуции и потребления готового продукта. Технологии с применением искусственного интеллекта наиболее полно интегрированы в постпроизводственный этап; на предпроизводственном и производственном этапах их внедрение носит более фрагментарный характер, хотя перспективы развития здесь весьма значительны [2; 5].

Ключевым противоречием, определяющим развитие отрасли, является соотношение технологического и художественного: цифровые инструменты способны как расширять возможности автора, так и подменять подлинное новаторство имитацией формальной сложности. Разрешение этого противоречия находится в культурном, а не техническом плане: оно требует формирования нового типа кинематографиста, одинаково ориентирующегося как в художественных традициях, так и в технологическом арсенале своей эпохи.

Для независимого кинематографа технологическая демократизация открывает принципиально новые возможности, однако их реализация предполагает осознанный и целена-

правленный подход к выбору инструментов. Наиболее продуктивным является синтез авторской интуиции и технологической грамотности, при котором цифровые средства выступают не как самоцель, а как средство художественного замысла. Именно такой «симбиоз технологического оснащения и творческого осмысления» обладает подлинным художественным потенциалом [19].

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются изучение этических аспектов применения ИИ в кинопроизводстве, анализ влияния алгоритмических рекомендательных систем на производство и потребление независимого кино, а также разработка образовательных программ, формирующих у будущих кинематографистов необходимые компетенции в области цифровых технологий [12].

Список литературы

1. Федоров, А. В. Киноведение и кинокритика в журнале «Искусство кино» / А. В. Федоров, А. А. Левицкая, О. И. Горбаткова. – Москва : Изд-во ОД «Информация для всех», 2025. – 403 с.

2. Поляков, А. М. Исследование применения нейросетей в создании и продвижении кинолент в российской киноиндустрии / А. М. Поляков, Т. С. Романишина, В. А. Бондаренко // Практический маркетинг. – 2025. – №2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-primeneniya-neyrosetey-v-sozdanii-i-prodvizhenii-kinolent-v-rossiyskoy-kinoindustrii.

3. Алиев, Э. В. Проблемы использования цифровых технологий в киноиндустрии / Э. В. Алиев // European Journal of Arts. – 2023. – №1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-ispolzovaniya-tsifrovyh-tehnologiy-v-kinoindustrii.

4. Connelly E.A.J. AI Can Shave Millions from Film Production Costs Without Replacing Creatives, Study Finds // TheWrap. – 2023.

5. Reddy C.V. The Impact of Artificial Intelligence on the Film Industry: A Research Study // International Journal of Scientific Research in Engineering and Management. – 2025. – Vol. 9, №2.

6. Беляева, М. Б. Применение нейронных сетей в компьютерной анимации / М. Б. Беляева, Э. И. Харисов // Colloquium-journal. – 2020. – №35 (87). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyronnyh-setey-v-kompyuternoy-animatsii.

7. Экранные искусства в контексте современных и образовательных процессов: материалы II Международной научно-практической конференции и научно-практического круглого стола (Москва, 2022). – Москва, 2024. – 260 с.

8. Бекмамбетов, Т. Скринлайф: в поисках нового языка кино. / Т. Бекмамбетов и др. – Москва : Альпина Паблишер, 2021.

9. Васильева, Е. Спецэффекты в кино: от иллюзии чуда к иллюзии реальности / Е. Васильева // Телескоп. – 2011. – №4 (88). – С. 32–35.

10. Климов, Я. Феноменология кино: визуальный поворот и кризис содержания / Я. Климов // Общество: философия, история, культура. – 2022. – №6. – С. 232–235. DOI: 10.24158/fik.2022.6.40.

11. Шипкова, О. Т. Цифровая экономика: учебник / О. Т. Шипкова, Е. Н. Елисеева, А. А. Кузьмина, С. А. Ульянова. – Москва : Русайнс, 2024. – 146 с.

12. Игнатова, И. Б. Новые медиа: теория и практика: учебно-методическое пособие / И. Б. Игнатова, Е. С. Зубаркина, А. В. Землянский. – Москва : МПГУ, 2022. – 96 с.

13. Дзялошинский, И. М. Медиапространство России: состояние и тенденции развития / И. М. Дзялошинский // Федеральный справочник. Связь и массовые коммуникации в России. – Москва : НП «Центр стратегического партнерства», 2013. – Т. 12. – С. 97–104.

14. Бродовская, Е. В. Влияние цифровых коммуникаций на формирование профессиональной культуры российской молодежи / Е. В. Бродовская, А. Ю. Домбровская, Р. В. Пырма, А. В. Синяков, А. А. Азаров // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. – 2019. – №1. – С. 228–251.

15. Попова, О. И. Влияние цифровизации на потребительское поведение и развитие СМИ / О. И. Попова // Знак: проблемное поле медиаобразования. – 2020. – №3 (37). – С. 121–126.

16. Кожемякин, Е. А. Мультимодальный контент: вызовы PR-образованию / Е. А. Кожемякин // Знак: проблемное поле медиаобразования. – 2021. – №1 (39). – С. 16–26.

17. Круглова, Л. А. Трансформация аудиовизуального контента в новых медиа / Л. А. Круглова // Вестник Московского университета. Серия 10. Журналистика. – 2012. – №3. – С. 61–71.

18. Грицких, Н. В. Развитие креативных индустрий в условиях цифровизации / Н. В. Грицких, О. Н. Кононова, Н. С. Рыбак // Социология. – 2022. – №6. – С. 39–47.

19. Абишев, С. Компьютерные и медиатехнологии в казахстанском независимом кинематографе / С. Абишев // Central Asian Journal of Art Studies. – 2022. – Т. 7, №4. – С. 50–70. DOI: 10.47940/cajas.v7i4.621.

20. Харса, А. В. Функциональная реализация внедрения технологий с применением искусственного интеллекта в кинопроизводстве / А. В. Харса, М. Р. Калкили // Парадигма. – 2025. – №5, ч. 2. – С. 74–80.

21. Душхунян, Э. Ж. Динамика цифровой трансформации аудиовизуального производства: новые инструменты и переосмысление традиционных практик / Э. Ж. Душхунян // Экранные искусства в ракурсе современной культуры: материалы VI Всероссийской научной конференции. – Краснодар: КГИК, 2024. – С. 90–96.

22. Подберёзный, К. Отталкивающие инновации: AI снял очередную короткометражку / К. Подберёзный // K. Fund Media. – 2018. – URL: https://kfund-media.com/ru/ottalkyvayushhye-ynnovatsyy-ai-snyal-ocherednuyu-korotkometrazhku

23. Ногербек, Б. На экране «Казахфильм» / Б. Ногербек. – Алматы: РУАН, 2007.

УДК 316.77:613.2

ЦИФРОВОЙ РАЗРЫВ: ПОЧЕМУ ДЕТИ ЗНАЮТ О КАЛОРИЯХ БОЛЬШЕ, ЧЕМ О ЧУВСТВЕ ГОЛОДА

Ахтариева Р.Ф., к.пед.н., доцент, директор Набережночелнинского филиала Университета управления «ТИСБИ»;
ORCID: 0000-0002-7423-7671;
Шапирова Р.Р., старший преподаватель кафедры педагогики Елабужского института КФУ г. Елабуга, Россия;
ORCID: 0000-0003-3199-4231

THE DIGITAL DIVIDE: WHY CHILDREN KNOW MORE ABOUT CALORIES THAN ABOUT HUNGER

Akhtarieva R.F., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Director of the Naberezhnye Chelny Branch of TISBI University of Management;
ORCID: 0000-0002-7423-7671;
Shapirova R.R., Senior Lecturer at the Department of Pedagogy, Yelabuga Institute of Kazan Federal University (KFU), Yelabuga, Russia;
ORCID: 0000-0003-3199-4231

Аннотация

В статье рассматривается парадокс современного информационного общества, который заключается в кажущемся изобилии информации и доступности знаний и здоровом об-

разе жизни (ЗОЖ) среди детей и подростков, но при этом наблюдается рост тревожности, связанной с питанием, и деформация интуитивных пищевых сигналов. В исследовании представлены данные анкетирования, проведенного среди 40 детей, посещающих лагерь «Интел-Лето» при Елабужском институте КФУ, г. Елабуга. Выявлен значительный разрыв между декларируемыми знаниями о калорийности, БЖУ и реальными практиками питания. Авторы приходят к выводу, что цифровая среда формирует «иллюзию компетентности», замещающую практический опыт, и предлагают стратегии возврата к осознанному питанию без жестких запретов.

Ключевые слова: цифровой разрыв, интуитивное питание, дети, подростки, ЗОЖ-контент, гаджеты, пищевое поведение, тревожность, функциональные расстройства ЖКТ

Abstract

This article examines a paradox of the modern information society: despite the apparent abundance of information and the accessibility of knowledge regarding healthy lifestyles among children and adolescents, there is a simultaneous rise in diet-related anxiety and a distortion of intuitive hunger and satiety signals. The study presents data from a survey of 40 children attending the “IntelLeto” camp at the Yelabuga Institute of Kazan Federal University (Yelabuga). A significant gap was identified between the children's stated knowledge regarding caloric content and macronutrients (proteins, fats, and carbohydrates) and their actual dietary practices. The authors conclude that the digital environment creates an “illusion of competence” that replaces practical experience, and they propose strategies for returning to mindful eating without relying on strict dietary restrictions.

Keywords: digital divide, intuitive eating, children, adolescents, healthy lifestyle content, gadgets, eating behavior, anxiety, functional gastrointestinal disorders

Современный подросток живет в среде, перенасыщенной противоречивой информацией о питании. Согласно статистике запросов в поисковых системах и аналитике социальных сетей, за последние три года интерес к хештегам #правильноепитание и #калории среди пользователей 10-16 лет вырос на 340%. Парадоксально, но параллельно с этим ростом медицинская статистика фиксирует устойчивое увеличение функциональных расстройств желудочно-кишечного тракта у детей данной возрастной группы: диспепсии, синдром раздраженного кишечника и психогенных запоров [1].

Мы наблюдаем ситуацию «цифрового разрыва»: объем информации о еде огромен, а практическое владение этими знаниями, умение применять их для заботы о себе – сведено к минимуму. Отсюда возникает закономерный вопрос: почему дети, которые знают, сколько калорий в авокадо и что такое глютен, не умеют распознать собственное чувство голода?

Цель данного исследования – выявить корелляцию между погруженностью в ЗОЖ-контент и степенью применения полученных знаний у детей 10-16 лет, а также предложить пути преодоления этого разрыва.

Среди молодежи основным каналом получения информации о питании стали форматы коротких видео (reels, shorts, клипы), в которых представлены яркие и эмоциональные утверждения, но не всегда научные и достоверные факты, в результате чего формируется «иллюзия знаний» – состояние, при котором человек уверен в своей осведомленности, оперируя набором разрозненных фактов без понимания их взаимосвязей. В детской среде это проявляется в виде устойчивых мифов, к примеру:

– миф о «токсинах»: любые продукты, кроме чистых «суперфудов», объявляются источниками шлаков, которые требуют детокса;

– миф о «чудо-продуктах»: киноа, семена чиа и спирулина позиционируются как панацея, заменяющая сбалансированный рацион;

– демонизация макронутриентов: углеводы объявляются абсолютным злом, а жиры – причинами всех болезней, без учета их типов и функций [2].

Такое поверхностное знание не просто бесполезно, но и вредно для самих детей и подростков. Оно создает когнитивный диссонанс: ребенок «знает», что есть «правильно», но не понимает, как это применить к реальному обеду в школьной столовой. Это в свою очередь рождает тревогу, которая, как известно, сама по себе является фактором нарушения моторики ЖКТ.

Визуальная эстетика еды в социальных сетях – «умная тарелка», идеально выложенные смузи-боулы, цветные зерновые – создают мощный вектор давления на молодежь. Исследование показывает, что у детей, активно следящих за фудблогерами, формируется конфликт между категориями «красиво» и «полезно», который приводит к двум крайностям:

1. Синдром упущенной выгоды: ребенок считает свой обычный обед (суп, котлета, гречка) «недостаточно хорошим», потому что не выглядит как на картинке из соцсетей;

2. Гиперфиксация на внешнем виде: дети начинают отказываться от полезных, но «некрасивых» продуктов (например, тушеных овощей) в пользу эстетичных, но часто пустых по питательной ценности альтернатив (например, протеиновых батончиков с красителями).

Таким образом, визуальная культура еды заменяет культуру вкуса и насыщения, делая питание спектаклем, а не физиологическим процессом.

На наш взгляд, ключевой физиологический аспект проблемы заключается во влиянии гаджетов на процесс пищеварения. Прием пищи в компании смартфона или планшета стал нормой для 78% современных детей. Это приводит к следующим нарушениям:

– когнитивная перезагрузка: мозг, занятый обработкой визуального и звукового контента, не может адекватно интерпретировать сигналы желудка о растяжении стенок;

– нарушение выработки ферментов: акт еды требует фазы «цефалической реакции» – выделении слюны и желудочного сока при виде и запахе пищи, отвлечение на экран «выключает» эту фазу, замедляя пищеварение и вызывая чувство тяжести;

– отсутствие осознанности: ребенок не фиксирует вкус, текстуру и количество съеденного, в результате чего чувство насыщения приходит с опозданием на 20-30 минут, что ведет к перееданию [2].

Вместо того чтобы ориентироваться на интероцепцию (внутренние ощущения тела), ребенок опирается на внешние стимулы:количество лайков под фото еды, размер порции в ролике или советы любимого блогера. Как следствие, сигналы собственного тела игнорируются [3].

В июне 2026 года в рамках оздоровительного лагеря «ИнтелЛето» при Елабужском институте КФУ нами был проведен курс занятий «Питание – ключ к здоровью» для детей 10-16 лет. Программа кружка способствовала развитию критического мышления и умения ориентироваться в потоке информации о питании, представленном в средствах массовой информации и рекламных материалах. Обучающиеся обучались анализировать состав продуктов, оценивать их полезность и делать осознанный выбор в пользу здорового питания, защищая себя от манипуляций и недобросовестной рекламы.

Нами было проведено анкетирование среди 40 детей в возрасте 10-16 лет, посещающих лагерь «ИнтелЛето» при Елабужском институте КФУ (июнь, 2026 года). Целью опроса было выявление уровня осведомленности о питании и реальных пищевых привычках. Анкета состояла из 15 вопросов, разделенных на три блока: декларативные знания (знание калорийности, БЖУ, «вредных» продуктов), практические навыки (частота приема пищи, умение определять голод), влияние цифровой среды (время за гаджетами во время еды, источники информации). Результаты анкетирования представлены в виде таблицы 1.

Выявлен выраженный разрыв знаний у детей данной возрастной группы о системе питания – дети прекрасно осведомлены о калорийности продуктов, которые активно рекламируются в медиа (протеин, смузи и др.), но не знают энергетической ценности привычной домашней еды. 55% респондентов не ощущают физиологического голода, ориентируются исключительно на распорядок дня. На наш взгляд, тревожным фактором является то, что 60%

дете испытывают чувство вины после еды, что указывает на формирование невротического отношения к питанию. Корреляционный анализ показал прямую зависимость: дети, которые чаще едят с гаджетами, реже распознают сигналы насыщения (r=0,65 при p<0,01).

Таблица 1

Осведомленность детей о питании и пищевые привычки

Показатель	Категория	% респондентов
Знание калорийности	Знают точно для «модных» продуктов (авокадо, банан)	72%
	Знают для своего обычного обеда	12%
Определение чувства голода	Ориентируются на время суток («пора есть»)	55%
	Ориентируются на ощущения в животе	30%
	Не задумываются об этом	15%
Прием пищи с гаджетами	Всегда или часто	68%
Источники информации	Соцсети	82%
	Родители/школа	18%
Реакция на чувство переедания	Чувствуют вину и тревогу	60%
	Не придают значения	40%

Исследование подтверждает, что проблема не в недостатке информации, а в замещении ею реального опыта, современные дети страдают от «информационного ожирения», которое парадоксальным образом приводит к функциональным нарушениям пищеварения. Мы предлагаем следующие практические стратегии в питании:

1. Принцип «экран в сторону» – прием пищи без гаджетов, что позволяет мозгу сосредоточиться на вкусе и сигналах насыщения.

2. Детоксикация от «калорийного» языка – заменить разговоры о калориях и БЖУ на разговоры об ощущениях, вместо «Сколько калорий в этом?» спросить «Ты голоден?».

3. Реабилитация «скучной» еды: важно показать, что обычная еда (борщ, каша, запеченное мясо) не обязана выглядеть как арт-объект, чтобы быть полезной и вкусной.

4. Медиаграмотность питания – учить детей критически относиться в ЗОЖ-контенту, объяснять, что блогер – это не врач.

5. Восстановление интероцепции через физическую активность, которая помогает вернуть чувствительность к телесным сигналам, включая чувство голода.

Цифровой разрыв в питании – это не просто незнание, это потеря способности слышать свое тело. Только тогда знания о ЗОЖ перестанут быть мертвым грузом и превратятся в инструмент реальной заботы о себе.

Список литературы

1. Здравоохранение в России: статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – Москва : Росстат, 2025. – 210 с. ISBN 978-5-89476-542-3.

2. Отчет о глобальной эпидемии ожирения среди детей и подростков / Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). – Женева : ВОЗ, 2024. – 98 с. – URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240085473 (дата обращения: 28.08.2026).

3. Лебедева, Е. А. Влияние цифровых устройств на формирование пищевого поведения у детей младшего подросткового возраста / Е. А. Лебедева, И. В. Самсонова, Д. Р. Габитова // Вопросы детской диетологии. – 2024. – Т. 22, № 3. – С. 45–53. ISSN 2075-0817.

УДК 378.147

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩЕГО PR-СПЕЦИАЛИСТА В ПРОЦЕССЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Баутиста Барахас Диксон Алехандро, ассистент;
Каркина С.В., к.пед.н., доцент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-2176-5910

DEVELOPING DIGITAL COMPETENCE FOR FUTURE PR SPECIALISTS USING NEURAL NETWORK TOOLS

Bautista Barajas Dixon Alejandro, Assistant;
Karkina S.V., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-2176-5910

Аннотация

Данное исследование посвящено вопросу профессиональной подготовки специалиста по связям с общественностью в контексте глобального тренда цифровизации. Учитывая серьезные изменения форматов коммуникации в результате развития нейросетей, вопрос уточнения понятия цифровой компетентности будущего специалиста в области связей с общественностью представляется актуальной проблемой теоретического исследования. Цель данного исследования – охарактеризовать ключевые компоненты цифровой компетентности будущего специалиста по связям с общественностью. В результате проведения исследования было установлено, что развитие цифровой компетентности будущего специалиста в области связей с общественностью с использованием нейросетевых инструментов может быть представлено в виде структурной модели, имеющей пять взаимосвязанных компонентов: технологический, аналитический, коммуникативный, креативный, этико-правовой.

Ключевые слова: цифровая компетентность, компетенции, цифровизация, нейросети, высшее образование

Abstract

This study examines the professional training of public relations specialists in the context of the global digitalization trend. Given the significant changes in communication formats resulting from the development of neural networks, clarifying the concept of digital competence for future public relations specialists is a pressing issue for theoretical research. The purpose of this study is to characterize the key components of digital competence of future public relations specialists. As a result of the study, it was established that the development of digital competence of a future specialist in the field of public relations using neural network tools can be presented in the form of a structural model with five interconnected components: technological, analytical, communicative, creative, ethical and legal.

Keywords: digital competence, competencies, digitalization, neural networks, higher education

Введение

Цифровая трансформация в современном мире коренным образом изменила характер работы специалистов разных сфер, в т.ч. средств массовой коммуникации. В частности, профессия специалиста по связям с общественностью (PR) претерпела значительную эволюцию

благодаря внедрению цифровых технологий и, в последнее время, искусственного интеллекта [1]. Нейросети серьезно изменили каналы и форматы коммуникации, что повлекло за собой также переосмысление компетенций, которые необходимы для эффективной работы. В этом контексте вопрос уточнения понятия цифровой компетентности будущего специалиста в области связей с общественностью представляется актуальной проблемой теоретического исследования. Внедрение нейросетей в работу специалиста по связям с общественностью связано с персонализацией профессиональных задач и постепенным их превращением из простого инструмента в технологию, которая способна привести к изменению профессиональной роли в целом в контексте всей сферы коммуникационной индустрии.

Цифровая компетентность – это сложное многогранное понятие, оно предполагает критическое, творческое и в то же время безопасное использование цифровых технологий для выполнения профессиональных задач, образования и социальной активности [2]. В контексте профессиональных задач современного специалиста по связям с общественностью цифровая компетентность становится ключевой и включающей в себя способность эффективно и четко искать, оценивать, управлять и передавать информацию в цифровой среде [3].

Данная компетенция имеет большое значение для специалиста по связям с общественностью. Ее значимость обусловлена профессиональными задачами, а именно созданием целостных рекламных материалов, взаимодействия с различными аудиториями в цифровой среде и применением инструментов искусственного интеллекта [4]. Внедрение генеративных нейросетей значительно расширило эти возможности, позволило автоматизировать самые разные задачи, начиная с анализа средств массовой коммуникации, сегментации аудитории, создания коммуникативного контента, включающего рекламные материалы, промо-видео и другие виды рекламной продукции [5].

Внедрение искусственного интеллекта в образовательный процесс открывает беспрецедентные возможности для расширения форм, методов, средств и содержания высшего образования. Использование генеративных нейросетей позволяет анализировать большие массивы данных, разрабатывать веб-сайты и различные материалы в соответствии с личными предпочтениями заказчиков, генерировать высокоточные рекомендации по образовательным ресурсам, которые напрямую отвечают конкретным потребностям каждого обучающегося. Внедрение нейросетевых инструментов делает процесс обучения более эффективным, мотивирующим, результативным и ориентированным на студента, при этом способствует переходу от традиционных, стандартизированных педагогических моделей к персонализированному подходу.

Методы исследования

На основе анализа теоретического материала по теме исследования была определена его цель: охарактеризовать ключевые компоненты цифровой компетентности будущего специалиста по связям с общественностью. Для достижения поставленной цели были использованы теоретические методы научного анализа (систематизация и обобщение), анализ методической литературы и интернет-источников, сравнительный анализ.

Основные результаты

Изучение ключевых компонентов профессиональной компетентности основана на компетентностном подходе, применяемом для организации профессиональных задач как практики. Вначале необходимо уточнить основные понятия «компетенция» и «компетентность». Теория компетентностного подхода была изучена Н. Хомским. Данное понятие было введено им в противовес термину «деятельность», чтобы подчеркнуть значимость и полезность для профессиональной практики наличие мышления, личного опыта и психологической отзывчивости. Определения основных понятий компетентностного подхода были уточнены В. Хутмахером. Согласно его работам, понятие «компетенция» имеет практико-активационное содержание, в то время как понятие «компетентность» является более всеобъемлющим и, сле-

довательно, включает в себя также личностные компоненты. Компетентность понимается современными исследователями как широкая личностная и профессиональная характеристика, тогда как компетенция является частью многокомпонентной системы.

Внедрение генеративных нейросетей позволяет значительно усовершенствовать процесс развития цифровой компетентности благодаря гибкому подходу к обучению, регулированию уровня сложности и темпа освоения учебного материала. Нейросетевые инструменты позволяют с легкостью решать задачи, которые при традиционном подходе являются значительно более трудоемкими. Так, написание текстов на заданную тематику и с учетом поставленных требований, создание иллюстративного фото и видео материала, аналитические задачи – все это решается за доли минуты и позволяет адаптировать контент под любые запросы и индивидуальные предпочтения. Интеграция персонализированных стратегий обучения на основе искусственного интеллекта имеет важное значение для создания более инклюзивной, автономной и эффективной образовательной среды в высших учебных заведениях, особенно для будущих специалистов по связям с общественностью.

Развитие цифровой компетентности будущего специалиста в области связей с общественностью с использованием нейросетевых инструментов может быть представлено в виде структурной модели, имеющей пять взаимосвязанных компонентов.

1. Технологический компонент представляет собой базовый уровень, который обеспечивает операциональные навыки, необходимые специалисту по рекламе. Данный уровень предполагает работу с системами, необходимыми для распространения рекламного контента, например блоги, сервисы почтовой рассылки. Операциональные навыки также включают овладение современными инструментами мониторинга и анализа большого массива данных. Технологические навыки специалиста по рекламе также требуют умений применять базовые функции программного обеспечения офисного компьютера, которые позволяют проводить необходимые операции, визуализировать данные посредством создания инфографики, интерактивных дашбордов. Технологический уровень также включает понимание основных принципов оптимизации интернет поиска и настройки контекстной рекламы, необходимой для продвижения информации и рекламных сообщений.

2. Аналитический компонент предполагает использование статистических инструментов для принятия обоснованных управленческих решений. Данный компонент включает навыки сбора, анализа и интерпретации больших массивов данных о характеристиках потребительской аудитории, использование методов веб-аналитики для оценки эффективности и оптимизации рекламных кампаний, владение инструментами предиктивной аналитики на основе искусственного интеллекта, позволяющими давать прогноз возможных информационных угроз, негативного контента. Важные результатом реализации данного компонента является овладение стратегическими навыками разработки форм присутствия бренда в разных цифровых средах, учитывая при этом характерные особенности, сильные и слабые стороны, жизненный цикл продукта.

3. Коммуникативный компонент включает в себя широкий спектр навыков создания нативного контента, который может быть использован на площадках разного типа (вертикальные видео, лонгриды, подкасты и мн. др.). Коммуникативные навыки современного специалиста по рекламе с применением нейросетей предполагает управление онлайн-сообществами: разработкой контент-стратегии и контент-плана, размещение постов, модерация дискуссий, обработка пользовательских запросов и внедрение элементов геймификации во взаимодействии с аудиторией. К этому же уровню относится организация и проведение виртуальных мероприятий, разнообразных цифровых проектов, мониторинг новостных агрегаторов и различных каналов трансляции.

4. Креативный компонент направлен на создание конкурентоспособного цифрового продукта. В этот компонент входит генерация при помощи искусственного интеллекта разно-

образных рекламных продуктов (мудбордов, мерча), их черновых версий и креативных идей. Данный компонент также предполагает умение создавать фото, вести видеосъемку, осуществлять цветокоррекцию, монтировать ролики и заниматься саунд-дизайном.

5. Этико-правовой компонент – один из наиболее важных, потому что он регулирует приемлемые рамки использования интернет-технологий. Этот компонент включает знание отечественного законодательства, базовые основы в области обработки и защиты персональных данных, маркировки интернет-рекламы и регулирования фейковых новостей. Этические границы использования нейросетей включают знание вопросов авторства генерации контента, использование ботов, навыки кибербезопасности цифрового следа, предотвращение утечки информации, соблюдение норм цифровой инклюзии.

Перечисленные компоненты в совокупности представляют модель цифровой компетентности будущего специалиста по связям с общественностью, владеющего современными нейросетевыми инструментами. Данная модель характеризует PR-специалиста как профессионала, обладающего сложными и многогранными навыками начиная от технических навыков компьютерного пользователя до архитектора цифровой среды промышленного бренда. При этом основной тренд в развитии цифровой компетентности можно назвать размывание границ между профессиональными областями, где соединяется журналистика, маркетинг, аналитика, продюссирование контента.

Выводы

В условиях повсеместного распространения искусственного интеллекта и внедрения цифровых технологий в самые разные профессиональные сферы, можно признать, что различные профессии переживают сегодня серьезные трансформации. Не является исключением в этом ряду и профессия специалиста по связям с общественностью. Характеризуя его цифровую компетентность в современных реалиях можно сказать, что она представляет собой сложную конструкцию, где базовый уровень технической грамотности является только фундаментом, а многокомпонентный состав включает аналитические, коммуникативные, креативные навыки с использованием нейросетевых инструментов, так же, как и этико-правовые знания по их применению. Основной вектор, определяющий конкурентоспособность профессионала в области рекламы, требует умения анализировать широкие массивы данных, разработку эффективных стратегий, адаптацию контента с учетом рабочих алгоритмов различных интернет-платформ, обеспечение безопасности и этических норм коммуникаций.

Список литературы

1. Karkina S, Mena J, Yao L., Digital Transformation of Professional Education: Internet-Assisted Signature Pedagogy for Learning Arts//Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – Vol.1150 LNNS, Is. – P. 272-283.

2. Febriani E., Saputro G. E., Dharmawan R., Chelsie S. P. Shifting roles of public relations professionals in artificial intelligence technology era: Case study of XY PR and digital agency // Jurnal Aspikom, 9 (2), 2025. – P. 333-344.

3. Verčič D., Verčič A. T., Sriramesh K. Looking for digital in public relations // Public relations review, 41 (2), 2015. – P. 142-152.

4. Karkina S., Klyuchnikova K., Mena J., Mukhametzyanova L. Cultural Identity Through 3D Modeling: Learning National Architecture Heritage Based on Hologram Technology // Lecture Notes in Educational Technology. Part F3283, 2024, 1095 – 1104.

5. White J., David M. Dozier Public relations and management decision making // Excellence in public relations and communication management. Routledge, 2013. – 91-108.

УДК 37.017.4:7.012

ПАТРИОТИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ ШКОЛЬНИКОВ СРЕДСТВАМИ ЦИФРОВОГО ДИЗАЙНА НА ОСНОВЕ НАРОДНЫХ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ПРОМЫСЛОВ

Бурганова Н.Р., магистр ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

PATRIOTIC EDUCATION OF SCHOOLCHILDREN THROUGH DIGITAL DESIGN BASED ON FOLK ARTS AND CRAFTS

Burganova N.R., Master's Degree, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматривается потенциал интеграции народных художественных промыслов и цифровых технологий в процесс патриотического воспитания школьников. Анализируются современные подходы к использованию цифрового дизайна как средства трансляции культурного наследия и формирования гражданской идентичности обучающихся. На основе обобщения практического опыта проведения фестивалей цифрового искусства, проектной деятельности в школах креативных индустрий и работы кружков цифрового дизайна выявлены основные педагогические условия эффективного применения цифровых технологий в патриотическом воспитании. Обосновывается, что создание цифровых коллекций на основе народных промыслов позволяет сочетать развитие технических навыков и формирование эмоционально-ценностного отношения к культурному наследию. Предложены практические рекомендации по организации проектной деятельности школьников в области цифрового дизайна на материале народных художественных промыслов.

Ключевые слова: патриотическое воспитание, народные художественные промыслы, цифровой дизайн, школьники, проектная деятельность, культурное наследие, гражданская идентичность

Abstract

The article examines the potential of integrating folk arts and crafts with digital technologies into the process of patriotic education of schoolchildren. It analyzes contemporary approaches to using digital design as a means of conveying cultural heritage and fostering students' civic identity. Based on a synthesis of practical experience gained from digital art festivals, project activities in creative industries schools, and the work of digital design clubs, the study identifies the key pedagogical conditions for the effective application of digital technologies in patriotic education. It is substantiated that creating digital collections based on folk crafts makes it possible to combine the development of technical skills with the formation of an emotional and value-based attitude toward cultural heritage. Practical recommendations are proposed for organizing project-based activities in digital design for schoolchildren, using folk arts and crafts.

Keywords: patriotic education, folk arts and crafts, digital design, schoolchildren, project activities, cultural heritage, civic identity

Введение

Цель статьи – обосновать педагогический потенциал создания цифровых коллекций на основе народных художественных промыслов как средства патриотического воспитания школьников и предложить практические рекомендации по организации соответствующей деятельности.

Теоретические основы патриотического воспитания школьников

Патриотическое воспитание представляет собой систематическую и целенаправленную деятельность по формированию у обучающихся гражданского самосознания, любви к Родине, уважения к историческому и культурному наследию своего народа. Как подчеркивается в педагогической литературе, «патриотизм – одна из важнейших черт гармоничной личности и отличительное качество граждан России во все времена» [5]. Вместе с тем, воспитание патриотизма – это неустанная работа по созданию у школьников гордости за свою Родину и свой народ, уважения к его великим свершениям [5].

Важным компонентом патриотического воспитания является «побуждение к чувственным переживаниям, осмыслению произведений искусства, любовь к окружающему миру, интерес к историческому прошлому своего народа, города, страны, к обрядам и традициям» [5]. В этом контексте народные художественные промыслы выступают уникальным ресурсом, позволяющим не на лозунгах, а на личном эмоциональном и деятельностном опыте формировать у школьников чувство сопричастности к культурному наследию [11].

Как отмечает А.О. Михайлова, значимость народных промыслов в образовании заключается в следующих аспектах: патриотическое воспитание (осознание красоты родного края, гордость за достижения предков), развитие творческих способностей, приобщение к искусству, формирование трудовых навыков, укрепление межпредметных связей [10, с. 195]. «Народные промыслы занимают особое место в истории и культуре России» [10], являясь не только эстетической ценностью, но и важнейшим каналом трансляции культурного кода от поколения к поколению.

Народные художественные промыслы как ресурс патриотического воспитания

Народные художественные промыслы России представляют собой уникальное культурное явление, в котором сконцентрирован опыт и мировосприятие многих поколений. К наиболее известным и значимым промыслам относятся хохломская роспись, гжельская керамика, жостовская роспись, палехская миниатюра, городецкая резьба и многие другие [10]. Каждый из них отражает региональную специфику, исторические условия формирования и эстетические предпочтения местного населения.

Особую роль народные промыслы играют в формировании у школьников чувства «малой родины». Изучая промыслы своего региона, дети осознают уникальность и ценность культурного наследия своей местности, что способствует формированию глубокой эмоциональной связи с родным краем. Как справедливо отмечается в педагогических исследованиях, «через глину, дерево, ткань и краски школьник буквально прикасается к Родине, осознает себя частью большого культурного и исторического целого, наследником и продолжателем традиций» [11]. Это становится «основой для формирования глубокого, осознанного и деятельного патриотизма» [11].

Однако в современных условиях наблюдается кризис в сфере культурных промыслов, «связанный с преобладанием направлений массовой культуры, снижением уровня профессионализма мастеров, отсутствием духовности» [9, с. 145]. Это делает особенно актуальной задачу популяризации народных промыслов среди молодежи, в том числе через использование современных цифровых технологий.

Цифровой дизайн как инструмент актуализации культурного наследия

Современный цифровой дизайн открывает принципиально новые возможности для работы с культурным наследием. Как показывают исследования, «информационные и образовательные технологии обладают большим потенциалом в области представления народных промыслов широкой аудитории» [9, с. 146]. Они «дают возможность показать продукцию как эталонную на отечественном и зарубежном рынке» [9].

В последние годы в России активно развиваются проекты, направленные на цифровую трансформацию народных художественных промыслов. Одним из наиболее успешных можно

назвать проект «Орнамика» – крупнейший открытый цифровой архив и лаборатория узоров России, который ориентирован не только на цифровую документацию народного визуального искусства, но также и на привлечение творческого сообщества к созданию новых идей [1].

Значимую роль в этом процессе играют и локальные инициативы. Примером может служить проект «Живой Север», реализованный при поддержке фонда Президентских грантов, который решает задачи сохранения визуального культурного наследия Русского Севера (оцифровка архивов, фотоархивов, музейных экспонатов), его актуализации (через размещение в цифровом пространстве) и создания нового дизайна на основе традиционных ремесел [1]. Такие проекты демонстрируют, что «цифровые технологии помогают приобщить к культуре народных промыслов большее количество людей» [9, с. 147].

Особый интерес представляет опыт организации фестивалей цифрового искусства, посвященных народным промыслам. Цифровой дизайн может стать эффективным мостом между традицией и современностью, делая культурное наследие значимым для молодого поколения.

Педагогический потенциал создания цифровых коллекций

Создание цифровых коллекций с элементами народных художественных промыслов представляет собой форму проектной деятельности, обладающую значительным педагогическим потенциалом. Как показывает опыт работы школ креативных индустрий, «проектная деятельность со школьниками 12-17 лет» может стать эффективной формой патриотического воспитания [3]. В процессе работы над цифровой коллекцией учащиеся решают комплекс взаимосвязанных задач:

1. Исследовательские. Школьники изучают историю промыслов, их региональные особенности, символику орнаментов и образов. Это способствует формированию системных знаний о культурном наследии;

2. Технологические. Освоение цифровых инструментов (графические редакторы, 3D-моделирование, VR/AR-технологии) развивает технические навыки, востребованные в современном мире;

3. Творческие. Интерпретация традиционных форм и орнаментов в цифровой среде развивает дизайнерское мышление, способность к творческому переосмыслению;

4. Воспитательные. В процессе работы формируется эмоционально-ценностное отношение к культурному наследию, осознание своей сопричастности к его сохранению и трансляции.

Как отмечает О.А. Рябова, «интеграция национальных культурных кодов и исторического наследия в проектные задания» позволяет педагогам «формировать у обучающихся не только профессиональные компетенции, но и гражданскую идентичность» [4]. Таким образом, создание цифровых коллекций становится не просто учебным заданием, а средством личностного развития школьников.

Особого внимания заслуживает опыт интеграции традиционных орнаментов в цифровой дизайн в рамках дополнительного образования. Садовникова М.Г. описывает опыт организации кружка по цифровому художественно-технологическому искусству, в рамках которого школьники 11-13 лет создавали проекты на основе традиционного якутского орнамента [2]. Программа «Цифровая вышивка: от идеи до изделия» (34 часа) соединяла компьютерный дизайн и национальную культуру, что позволило повысить интерес детей как к технологиям, так и к культурному наследию [2].

На основе анализа теоретических источников и практического опыта можно предложить следующие рекомендации по организации создания цифровых коллекций на основе народных промыслов в системе патриотического воспитания школьников:

Выбор цифровых инструментов должен соответствовать возрасту и уровню подготовки школьников. Для младших школьников могут быть использованы простые растровые ре-

дакторы и приложения для создания коллажей. Для старших – профессиональные программы для 3D-моделирования (Blender), работы с нейросетями, создания VR-пространств [7, 8].

Эффективность работы повышается при организации взаимодействия с мастерами народных промыслов, музеями, культурными центрами. Как показывают исследования, «коллаборации с мастерами НХП» позволяют не только сохранять ремесло, но и «делать возможным продолжение традиции в новой ее интерпретации» [1]. Взаимодействие с носителями традиций придает деятельности аутентичность и глубокий смысл.

Список литературы

1. Лефман, Т. О. Новый дизайн на основе традиционных ремесел: опыт творческих коллабораций / Т. О. Лефман // Современные исследования социальных проблем. – 2021. – № 4. – С. 265–279.

2. Садовникова, М. Г. Организация кружка по цифровому художественно-технологическому искусству для учащихся 5–7-х классов: методические аспекты и результаты апробации / М. Г. Садовникова // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2026. – № 6. – С. 1–10. – URL: https://e-koncept.ru/2026/0.htm (дата обращения: 26.06.2026).

3. Солодухина, А. Г. Патриотическое воспитание школьников средствами проектной деятельности: из опыта преподавания в школе креативных индустрий / А. Г. Солодухина // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2025. – № 9. – С. 1–8. – URL: https://e-koncept.ru/2025/0.htm (дата обращения: 26.06.2026).

4. Рябова, О. А. Применение личностно-ориентированного подхода через патриотическое воспитание на уроках предмета «Основы дизайн-проектирования» ДПП «Дизайн» [Электронный ресурс] / О. А. Рябова // Арт-Талант. – 2025. – URL: https://www.art-talant.org/publikacii/124369 (дата обращения: 26.06.2026).

5. Степанова, С. В. Доклад для семинара «Патриотическое воспитание на уроках изобразительного искусства» [Электронный ресурс] / С. В. Степанова // Инфоурок. – 2025. – URL: https://infourok.ru/doklad-dlya-seminara-patrioticheskoe-vospitanie-na-urokah-izobrazitelnogo-iskusstva-8080381.html (дата обращения: 26.06.2026).

6. Павлова, С. Л. Единство в многообразии: как патриотическое оформление кабинета воспитывает любовь к России [Электронный ресурс] / С. Л. Павлова // Учительский журнал. – 2026. – URL: https://www.teacherjournal.ru/categories/13/articles/17032 (дата обращения: 26.06.2026).

7. МГТУ – точка притяжения молодых талантов [Электронный ресурс] // ФГБОУ ВО «МГТУ». – 2026. – URL: https://www.mkgtu.ru/universitet/novosti-universiteta/26968/ (дата обращения: 26.06.2026).

8. В Грозном стартовал Всероссийский фестиваль цифрового искусства о народных промыслах [Электронный ресурс] // ЧГТРК Грозный. – 2026. – URL: https://grozny.tv/news/education/77209 (дата обращения: 26.06.2026).

9. Петрухина, А. С. Культурные промыслы России как современный и востребованный продукт / А. С. Петрухина, А. В. Пышненко // Общество: философия, история, культура. – 2024. – № 9. – С. 143–149. – DOI: 10.24158/fik.2024.9.21.

10. Михайлова, А. О. Традиционные народные промыслы России: важность и польза интеграции традиционного народного творчества в систему школьного образования / А. О. Михайлова // Молодой ученый. – 2025. – № 46 (597). – С. 195–198.

11. Штайгер, К. Ф. Народные промыслы в патриотическом воспитании [Электронный ресурс] / К. Ф. Штайгер // Инфоурок. – 2025. – URL: https://infourok.ru/narodnye-promysly-v-patrioticheskom-vospitanii-8082392.html (дата обращения: 26.06.2026).

УДК 37.016:784.4

DIGITAL TRANSFORMATION OF TEACHING METHODS OF TATAR FOLK SINGING: FROM AUTHENTICITY TO INTELLECTUAL ENVIRONMENTS

Vakhitova I.R., Senior Lecturer, Department of Vocal and Instrumental Arts, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ТАТАРСКОМУ НАРОДНОМУ ПЕНИЮ: ОТ АУТЕНТИЧНОСТИ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ

Вахитова И.Р, старший преподаватель кафедры вокального и инструментального искусства ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

Abstract

This article examines the problem of preserving the authentic vocal traditions of the Tatar people in the context of the digitalization of music education. It examines the historical and pedagogical roots of folk singing practice and the specific musical and stylistic features of Tatar folk songs (pentatonic scale, monodic structure, timbre coloring), which remain the methodological core of teaching. The novelty of this work lies in its rationale for integrating digital tools (audio editors with spectrum visualization, artificial intelligence platforms for intonation analysis, video archives of authentic recordings, interactive breathing simulators) into a traditional system of vocal exercises. A conceptual model of «hybrid» learning is proposed, where digital technologies serve not a substitute but an expanding and corrective function, allowing students to receive objective feedback on pitch, breath duration, and timbre density. Particular attention is paid to the analysis of digital tools for developing the skill of long vocal breaths, pure intonation within the anhemitonic pentatonic scale, and the development of melismatics.

Keywords: Tatar folk singing, ethno-vocal pedagogy, digitalization of education, artificial intelligence in music, pentatonic scale, ozyn köy, sound visualization, online platforms, audio analytics, hybrid learning

Аннотация

В данной статье рассматривается проблема сохранения аутентичных вокальных традиций татарского народа в контексте цифровизации музыкального образования. Исследуются историко-педагогические корни практики народного пения и специфические музыкально-стилистические особенности татарских народных песен (пентатоническая гамма, монодическая структура, окраска тембра), которые остаются методическим ядром обучения. Новизна работы заключается в обосновании интеграции цифровых инструментов (аудиоредакторы с визуализацией спектра, платформы искусственного интеллекта для анализа интонации, видеоархивы аутентичных записей, интерактивные дыхательные тренажеры) в традиционную систему вокальных упражнений. Предлагается концептуальная модель «гибридного» обучения, где цифровые технологии служат не заменой, а расширяющей и корректирующей функцией, позволяя учащимся получать объективную обратную связь по высоте тона, длительности дыхания и плотности тембра. Особое внимание уделяется анализу цифровых инструментов для развития навыка длительного вокального дыхания, чистой интонации в рамках ангемитоновой пентатонической гаммы и развития мелизматики.

Ключевые слова: татарское народное пение, этно-вокальная педагогика, цифровизация образования, искусственный интеллект в музыке, пентатоническая гамма, озын кой, визуализация звука, онлайн-платформы, аудиоаналитика, гибридное обучение

Introduction

Folk pedagogical practices, rooted in the depths of centuries, have always been the primary transmitter of aesthetic and ethical ideals through musical and poetic folklore. Hearing maternal melodies, lullabies, takmaks, and baits from the cradle, children naturally grasped the intonation of their native speech and music. However, in the 21st century, traditional «oral» transmission of skills faces challenges: the shrinking natural sound environment, the loss of native speakers, and the clip-based mentality of young people. Digitalization, contrary to fears, may become not an enemy, but an ally of authenticity [8].

Tatar folk songs are distinguished by exceptional genre diversity (ozyn köy, kyska köy, baity, takmaks) and modal specificity (anhemitonic pentatonic scale, descending melodic movement). Mastering these complex parameters requires students to possess not only vocal abilities but also a developed tonal ear and respiratory endurance. However, traditional singing methods (tuning to the teacher's voice or piano) do not provide an objective, quantitative assessment of progress. Therefore, the relevance of this study is determined by the need to develop digital methodological support that will preserve the ethnic nature of sound production while enhancing it with modern control and visualization technologies.

Literature Review

The theoretical foundation of this work is provided by works in the field of Tatar ethnomusicology (F.Sh. Salitova, Z.N. Saidasheva, M. Nigmedzyanov), which have described in detail the pentatonic tonal structure and genre patterns [8, 9, 10]. S. Saidashev's research has systematized the intonation vocabulary of Tatar songs.

In the field of vocal pedagogy, the works of L. Shamina, N. Meshko, and V. Bagadurov are important, affirming the principle of the unity of speech and vocal principles in folk vocals. However, all of these works were created before mass digitalization.

In recent years, a body of research has emerged devoted to the application of digital technologies in music education. These include studies on the use of spectral analysis (Melodyne, Sonic Visualizer) for intonation correction, research on the implementation of AI trainers (e.g., Yousician, SingTrue) for auditory and respiratory development, and projects to digitize folklore archives (European Ethnic Music Archive, «Musical Geography of Russia» portal). Scientists (Karaosmanoglu, 2020; Volioti et al., 2022) have proven that visualization of sound parameters increases singer awareness by 30-40% compared to the traditional method of «singing by ear».

From a folk pedagogy perspective, Tatar scholars (G.V. Yusupova, R.A. Nigmatullina) emphasize the syncretic nature of creativity. However, the question of how digital copies (recordings, video lectures, 3D larynx models) influence the transmission of a «live» ethnic timbre remains open. Our study fills this gap [5].

Materials and Methods

The methodological basis of the study is a synthesis of theoretical analysis of pedagogical literature, experimental testing of digital instruments in an ethnic vocal classroom, and a summary of five years of teaching experience. Main methods:

Comparative analysis of traditional and digital teaching methods

Experimental implementation into the educational process (2023–2026) at the Kazan State Institute of Culture (second- to fourth-year students majoring in "Folk Singing Art"). Audio analysis using software packages (Praat, Melodyne 5, and the spectral module in Reaper) for objective measurement of intonation clarity and timbre density. Student and teacher survey on the effectiveness of digital feedback.

Results

Development of a digital methodological complex. An integration model has been created, including:

A bank of authentic reference samples with frequency markings (spectrograms of folk singers S. Sadykova and I. Shakirov).

Interactive chanting exercises in the form of a mobile app, where the student can see their intonation curve and the reference curve in real time (Fig. 1 – example of overlaying pitch graphs) [1].

A VR module, «Scene of a Rural Sabantuy», for immersion in the acoustic atmosphere of an open space (developing the skill of «singing in a field»).

Digital correction of singer's breathing. Traditional counting exercises are supplemented with breathing sensors (pneumographs connected to a smartphone), which visualize the duration, strength, and regularity of exhalation. An algorithm was developed that generates a light signal (green for normal, yellow for failure, red for failure) during the performance of the ozyn köy. Result: the average exhalation duration in the experimental group increased by 4.2 seconds (from 12 to 16.2 seconds) over 6 months, compared to 1.8 seconds in the control group.

Intonation trainer for pentatonic scale. Based on a library of anhemitonic chants, an AI companion was created that generates a «floating» drone drone and asks the student to perform the pentatonic scale steps. If the deviation is more than 15 cents, the program suggests a corrective exercise (sliding toward the standard). As a result, the purity of intonation in the experimental group increased from 74% to 91% (according to the expert committee) [6].

Visualization of melismatics. To master grace notes and gruppettos, a plugin was used that slows down the authentic recording without changing the pitch and highlights each microinterval on the keyboard grid. Students note that «seeing» the melisma helps them quickly understand its rhythmic structure, especially in takmaks, where tempo variations are unstable.

The principle of speech intonation in digital form. A speech analyzer was created that compares a spoken poetic word (in Tatar) with one sung in the same tone. The algorithm evaluates the match between formant zones (F1-F2) and provides recommendations for bringing the singing sound closer to the spoken one. This solved the problem of «academic stiffness» in 80% of students.

Discussion

The key debate today is whether digital formative music destroys the «soul» of folk songs. Our results show the opposite: when students see the objective parameters of their breathing (in digital form) and hear the standard, they stop wondering, «Did I sing it correctly?» and focuses on artistic expression. Digital technology alleviates technical anxiety.

The first stage (ear development) is now supported by spectral analysis, accelerating the development of pentatonic scales.

The second stage (breathing) is taken to a new level thanks to biosensors –the student sees the «air column» on the screen, not just feels it.

The third stage (warm-ups) has been transformed: instead of a piano, a drone generator with adjustable tuning (adaptable to any scale) is used. Warm-ups for «mi», «zhei», and «su» are now accompanied by animated graphics of vocal fold movement.

The fourth stage (speech foundation) is enhanced by formant analysis, which provides a scientific basis for the well-known folk rule «sing as you speak».

The fifth stage (artistic image) gained access to digitized ethnographic expeditions from the 1960s, reconstructed using neural networks (to enhance the quality of the tapes).

Thus, digitalization does not change the content of the ethno-vocal method, but creates a «smart mirror» in which the student sees their actual technique, not the teacher's subjective assessment of it.

Conclusions

The proposed digital transformation of the Tatar folk singing teaching methodology does not compromise authenticity, but rather enhances it through the objectification of auditory, respiratory, and articulatory processes.

Learning effectiveness is enhanced by visualizing auditory and respiratory parameters: intonation becomes more stable (increased by 17%), and exhalation becomes longer (by 35%) [4].

The developed digital tools (interactive chants, AI corrector, breathing sensors) can be scaled to other ethnic vocal traditions (Bashkir, Chuvash, Mordvin) after adapting reference recordings.

The key principle of the unity of speech and musical principles is preserved, but now it is supported by formant analysis, enhancing the scientific validity of the methodology.

Digital archives of authentic recordings, combined with VR environments, make it possible to recreate the lost acoustic environment, which is critical for students who grew up in an urban digital environment [2].

The research's potential lies in developing a full online course on Tatar folk singing based on a platform with an AI tutor and creating an open database of reference spectrograms.

References

1. Akhmetova, L. A. The Song Heritage of the Kryashen Tatars in the Educational Process of a Music and Pedagogical University / L. A. Akhmetova // Bulletin of the Kazan State University of Culture and Arts. – 2013. – № 4-1. – Pp. 107-111.

2. Brazhnik, L. V. Angemitonics in Modal and Tonal Systems: A Case Study of the Turkic and Finno-Ugric Peoples of the Volga and Ural Regions / L. V. Brazhnik. – Kazan: Kazan State Conservatory, 2002. – 158 p.

3. Girshman, Ya. M. The Pentatonic Scale and Its Development in Tatar Music / Ya. M. Girshman. – Moscow: Sovetsky kompozitor, 1960. – 180 p.

4. Zaripova, Z. S. Pedagogical potential of traditional song creativity of the Tatar people / Z. S. Zaripova // Bulletin of the TGGPU. – 2011. – № 1 (23). – Pp. 164–168.

5. Iskhakova-Vamba, R. A. Tatar folk songs / R. A. Iskhakova-Vamba. – M.: Soviet Composer, 1981. – 190 p.

6. Kozlov, I. A. Five-note scales in Tatar and Bashkir music / I. A. Kozlov // News of the Society of Archeology, History and Ethnography at Kazan University. – 1928. – T. 34, issue. 1. – Pp. 45–58.

7. Nigmedzyanov, M. N. Folk music / M. N. Nigmedzyanov // Tatars of the Middle Volga and Urals. – M.: Nauka, 1967. – P. 425–442.

8. Saydasheva, Z. N. Tatar musical ethnography / Z. N. Saidasheva. – Kazan: Tatar Book Publishing House, 2007. – 223 p.

9. Saydasheva, Z. N. Tatar Soviet song / Z. N. Saidasheva. – Kazan: Tatar Book Publishing House, 1984. – 167 p.

10. Salitova, F. Sh. On the pedagogical functions of Tatar folk music / F. Sh. Salitova // Art and education. – 2008. – № 5. – P. 142–147.

11. Sukhomlinsky, V. A. I give my heart to children / V. A. Sukhomlinsky. – Kyiv: Radyanska School, 1974. – 288 p.

12. Tukay, G. Favorites / G. Tukay; lane from Tat. – M.: Fiction, 1986. – 256 p.

13. Khanbikov, Ya. I. From the history of pedagogical thought of the Tatar people / Ya. I. Khanbikov. – Kazan: Tatar Book Publishing House, 1967. – 232 p.

14. Khisamieva, G. Education of morality in children using Tatar folk pedagogy / G. Khisamieva, N. Shchekoldina, E. Spiridonova // Magarif. – 2023. – № 10. – P. 22–25.

УДК 373.5.02:004.9:51

ОСВОЕНИЕ ЦВЕТОВОЙ МОДЕЛИ RGB В РОБОТОТЕХНИКЕ: ПУТЬ К ИНТЕГРАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ И ЦИФРОВЫХ НАВЫКОВ

Власова-Галасеева Н.М., старший преподаватель кафедры теории и методики обучения информатике;
ORCID: 0009-0004-7335-5248;
E-mail: vlasova-galaseeva@yandex.ru;
Смирнов Е.И., д.пед.н., профессор, заведующий кафедрой математического анализа, теории и методики обучения математике, к.ф.-м.н., академик РАЕН, ЯГПУ им. К.Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия

MASTERING THE RGB COLOR MODEL IN ROBOTICS: A WAY TO INTEGRATING MATHEMATICAL KNOWLEDGE AND DIGITAL SKILLS

Vlasova-Galaseeva N.M., Senior Lecturer, the Department of Theory and Methodology of Teaching Computer Science;
ORCID: 0009-0004-7335-5248;
E-mail: vlasova-galaseeva@yandex.ru;
Smirnov E.I., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Mathematical Analysis, Theory and Methodology of Teaching Mathematics, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

Аннотация

В статье рассматривается методика формирования математико-цифровых компетенций у обучающихся 14–17 лет в процессе освоения цветовой модели RGB на занятиях по робототехнике с использованием образовательного конструктора и текстового языка программирования. Выявлено противоречие между наличием у обучающихся математических знаний и их способностью применять эти знания для обработки цифровых данных с датчика цвета. Предложена методика, включающая обнаружение проблемы, нормализацию данных, геометрическое моделирование цветового пространства, введение метрики евклидова расстояния и алгоритмизацию распознавания методом ближайшего соседа. У обучающихся сформировались такие цифровые навыки, как алгоритмизация математических формул, организация циклического опроса датчика, работа с массивами данных и декомпозиция задачи. Представленная методика может быть рекомендована для реализации в дополнительных общеобразовательных программах технической направленности.

Ключевые слова: цветовая модель RGB, робототехника, математико-цифровые компетенции

Abstract

The article discusses a methodology for developing mathematical and digital competencies in students aged 14–17 through mastering the RGB color model in robotics classes using an educational robotics kit and a text-based programming language. A contradiction is identified between students' existing mathematical knowledge and their ability to apply this knowledge to process digital data from a color sensor. A methodology is proposed that includes problem detection, data normalization, geometric modeling of color space, introduction of the Euclidean distance metric, and algorithmization of recognition using the nearest neighbor method. Students developed such digital skills as algorithmizing mathematical formulas, organizing cyclic polling of the sensor, working

with data arrays, and task decomposition. The presented methodology can be recommended for implementation in supplementary general education programs with a technical focus.

Keywords: RGB color model, robotics, mathematical and digital competencies

Введение

Занятия робототехникой – естественная среда для применения математического аппарата и цифровых навыков в процессе решения прикладных практико-ориентированных задач. При этом математико-цифровые компетенции обучающихся на стыке математики, информатики и инженерии стали особенно актуальны в условиях цифровой трансформации образования. Гибкий характер системы дополнительного образования позволяет эффективно формировать данные компетенции, своевременно внедряя новые современные методики [1]. Основным инструментом для формирования математико-цифровых компетенций обучающихся становятся многоэтапные математико-информационные задания, задающие импульс интеграции математического и компьютерного моделирования [2]. Многоэтапные математико-информационные задания (ММИЗ) – это сложно- составленный комплекс последовательности задач и дидактических ситуаций, которые объединяют различные виды творческой деятельности: компьютерное и математическое моделирование, конструирование и художественное творчество. Эта технология разработана в исследованиях М. Клякля, В.С. Секованова, Е.И. Смирнова и определяет 4 этапа исследовательской деятельности. М. Клякля впервые рассматривал многоэтапные математические задания для формирования творческой математической деятельности учащихся в школах с углублённым изучением математики. В.С. Секованов продолжил эти исследования и ввёл понятие «многоэтапное математико-информационное задание», подчеркнув роль ИКТ в их реализации. Е.И. Смирнов в своих работах связывал ММИЗ с синергетическим подходом в образовании, выделяя этапы проявления синергии в математическом образовании, включая подготовительный, содержательно-технологический, контрольно-коррекционный и обобщающе-преобразующий.

Практика работы с детьми 14-17 лет показывает, что математические знания и цифровые навыки, полученные в школе, не всегда очевидны для применения при решении практических задач. Освоение работы с цветовой моделью RGB (red-green-blue) – один из способов преодоления данного разрыва. Здесь появляется необходимость читать цвет по-другому: каждый цвет можно представить в виде красного, синего и зелёного компонента [3]. При работе с данной темой рассматриваются такие математические темы, как пропорция, евклидово расстояние, трёхмерная система координат. Формируются цифровые навыки: декомпозиция задачи, написание функций, организация циклического опроса датчика, работа с массивом, отладка программы с выводом промежуточных значений, настройка порогов принятия решений на основе анализа числовых данных. Работа с цветовой моделью RGB объединяет математическое моделирование, технологическое ограничение, алгоритмические аспекты, что очень значимо для формирования системного мышления [4]. Интеграция математики, информатики и инженерных дисциплин, а именно это происходит в процессе работы с цветовыми моделями, способствует развитию навыков решения практических задач и готовит обучающихся с осознанному выбору инженерных профессий [5].

Материалы и методы

Процесс формирования математико-цифровых компетенций обучающихся в дополнительном образовании при получении математико-информационного задания по освоению цветовой модели RGB (red-green-blue) структурирован в пять последовательных этапов.

Первый этап – обнаружение проблемы. Для простоты сборки изначально используем образовательный конструктор. Задание для обучающихся – запрограммировать чтение цвета, используя готовую функцию. На практике выясняется, что цвет определяется не всегда корректно (робот «путает» зелёный и синий, красный и жёлтый). Сложность в том, что причины

ошибок непонятны, работу алгоритма не исправить, поскольку он скрыт от пользователя. Новая задача для обучающихся – чтение «сырых» значений красной, синей и зелёной компонент, где появляется новая проблема – разные числовые характеристики разных цветов и разных датчиков. На данном этапе у обучающихся формируется представление о цвете как о наборе числовых данных, закрепляется навык использования готовых функций, формируется понимание о необходимости разработки собственных функций.

Второй этап – нормализация данных. Для нормализации данных с датчиков необходимо провести калибровку. Алгоритм калибровки:

– поиск максимальных значений по каждой из компонент;

– использование формул нормализации на основе пропорции.

$$\text{Rнормализованная} = \frac{\text{Rтекущая}}{\text{Rмаксимальная}} \times 255$$

$$\text{Gнормализованная} = \frac{\text{Gтекущая}}{\text{Gмаксимальная}} \times 255$$

$$\text{Bнормализованная} = \frac{\text{Bтекущая}}{\text{Bмаксимальная}} \times 255$$

Смысл нормализации – приведение всех значений в диапазон [0-255]. Приведение значений к заданному диапазону актуализирует такие математические темы, как пропорция и линейное масштабирование. На данном этапе формируются такие цифровые навыки, как представление математической формулы и виде программного кода, создание собственных функций, реализация калибровки.

Третий этап – геометрическое моделирование. Каждый цвет можно представить в виде точки с координатами R, G, B. Совокупность всех точек (цветов) образует цветовой куб с длиной ребра 255. Точка с координатами (0, 0, 0) – это чёрный цвет, точка (255, 255, 255) – белый цвет. Обучающиеся могут самостоятельно определить координаты красного (255, 0, 0), синего (0, 0, 255), зелёного (0, 255, 0) и жёлтого (255, 255, 0) цветов. На данном этапе затрагиваются важные математические темы: трёхмерное пространство и координаты точек (геометрическое представление каждого цвета).

Четвёртый этап – введение метрики цветового пространства. Этот этап решит вопрос идентификации с определённым цветом. Если каждый цвет – точка в пространстве, то схожесть цветов целесообразно определять как расстояние между этими точками. Опираясь на теорему Пифагора, получим формулу евклидова расстояния между точками с координатами (R, G, B) (d).

$$d = \sqrt{(R1 - R2)^2 + (G1 - G2)^2 + (B1 - B2)^2}\ .$$

Пятый этап – реализация определения цвета методом ближайшего соседа. Задача для обучающихся: определить, используя датчик цвета, цвет (красный, синий, жёлтый, зелёный). Обучающиеся работают по алгоритму:

– выявление эталонных значений;

– чтение нормализованных значений текущего цвета;

– определение расстояний до эталонных значений;

– определение цвета (минимальное расстояние до эталона);

– вычисление порогового расстояния, если цвет не относится ни к какому из предложенных (определяется экспериментально каждым обучающимся отдельно).

Теорема Пифагора и метод ближайшего соседа позволяют обычное описание цвета представить в виде количественных вычислений, ярко показывая математическое решение практической задачи. Кроме того, формируется навык работы с массивами, понимание его практического применения, понимание порогов и умение его экспериментально получать.

Результаты

В процессе апробации (группа 12 обучающихся 14-17 лет) методики у обучающихся формировалось понимание необходимости следования этапам поиска калибровки и нормализации показаний с датчиков, развеялись представления о том, что датчик «должен» сам выдавать сразу нормальные значения. Наблюдение за работой обучающихся показало, что самая частая ошибка – использование единого максимального значения для трёх компонент. В процессе работы с трехмерной интерпретацией цвета 100% обучающихся смогли объяснить, как и почему каждый цвет можно представить в виде точки в пространстве, назвать координаты основных цветов. После завершения работы над темой вычисление расстояния между точками вызвало сложность только у одного обучающегося. В процессе работы над темой у обучающихся сформировались следующие цифровые навыки: реализация математической формулы в виде алгоритма (100%), организация циклического сбора и усреднения данных с датчика (91,7%), работа с массивом (100%), отладка программ с выводом промежуточных результатов (83,3%), а также декомпозиция задачи распознавания цвета на отдельные подзадачи (100%). Кроме того, полученный алгоритм экспериментально был проверен обучающимися и доказал свою эффективность. По сравнению со встроенной функцией, которая определяет цвет правильно примерно в 70% случаев, алгоритм с самостоятельными расчётами определяет правильно цвет примерно в 95% случаев.

Заключение

Освоение цветовой модели RGB доказало свою эффективность в формировании математико-цифровых компетенций у обучающихся 14-17 лет. В процессе нормализации данных происходит актуализация знаний о пропорциях и линейных зависимостях; геометрическая интерпретация цвета как точки в трёхмерном пространстве способствует развитию пространственного мышления и пониманию декартовой системы координат; вычисление евклидова расстояния позволяет применить теорему Пифагора для количественной оценки различия цветов, а метод ближайшего соседа формирует навыки классификации на основе числовых метрик. Точность распознавания цветов полученным алгоритмом оказалась выше, чем у встроенной функции. Разработанная методика может быть включена в программы дополнительного образования технической направленности.

Список литературы

1. Концепция развития дополнительного образования детей до 2030 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 31.03.2022 № 678-р.

2. Смирнов, Е. И. Компьютерный дизайн нелинейного роста «площадей» нерегулярного цилиндра Шварца / Е. И. Смирнов, А. Д. Уваров, Н. Е. Смирнов // Евразийское научное обозрение. – Москва, 2017. – №8 (30). – С. 35-55.

3. Киселев, О. М. Математические основы робототехники [для старших школьников, студентов младших курсов и преподавателей робототехники, информатики, прикладной математики] / О. М. Киселев. – Орёл : Картуш, 2019. – 227 с. ил., табл.; 21. – ISBN 978-5-9708-0768-2.

4. Кулакова, А. Д. Анализ методов цветовой калибровки изображений с использованием цветовых пространств rgb и hsv в задачах интеллектуального машинного зрения (на примере изображений, получаемых в условиях промышленных теплиц) / А. Д. Кулакова, В. А. Галкин, А. В. Макаренко // УБС. – 2022. – №97. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-tsvetovoy-kalibrovki-izobrazheniy-s-ispolzovaniem-tsvetovyh-prostranstv-rgb-i-hsv-v-zadachah-intellektualnogo

5. Борисова, О. А. Актуальные аспекты цветовой информатики: системный анализ RGB, CMYK и HSB в контексте цифрового образования и научной визуализации / О. А. Борисова // Актуальные вопросы современной науки и образования : Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Мурманск, 27 февраля 2026 года. – Чебоксары : Издательский дом «Среда», 2026. – С. 205. – DOI 10.31483/a-10849. – EDN WGGTPR.

6. Андриевских, Н. В. Осуществление межпредметных связей в курсе основной школы средствами stem-образования / Н. В. Андриевских, Е. А. Селезнева // МНКО. – 2022. – №4 (95). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osuschestvlenie-mezhpredmetnyh-svyazey-v-kurse-osnovnoy-shkoly-sredstvami-stem-obrazovaniya

УДК 378.147:811.111’276.6:51

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ АНГЛОЯЗЫЧНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛЕКСИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Галиахметов А.А., студент;
Крылова А.С., к.п.н., доцент кафедры иностранных языков, русского и русского как иностранного ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-0091-0287

INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO PROFESSIONALLY ORIENTED TEACHING OF ENGLISH MATHEMATICAL TERMINOLOGY IN TECHNICAL HIGHER

Galiakhmetov A.A., Student;
Krylova A.S., PhD in Pedagogical Science, Associate Professor of the Department of Foreign languages, Russian and Russian as a Foreign language, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-0091-0287

Аннотация

В данной статье рассматривается проблема формирования математической лексики на английском языке у студентов технических направлений подготовки. Актуальность исследования обусловлена необходимостью преодоления когнитивного разрыва между формальным математическим знанием, оперирующим символами и формулами, и его дискурсивным воплощением в устной и письменной речи на иностранном языке. Исследуются возможности инструментов искусственного интеллекта (на примере нейросети DeepSeek) для адаптации профессионально-ориентированных текстов, персонализации содержания обучения и создания упражнений, направленных на освоение англоязычной математической терминологии. Особое внимание уделяется трансформации абстрактных математических понятий в прикладные инженерные задачи посредством иностранного языка, что позволяет студентам увидеть практическую значимость языковой подготовки для будущей профессиональной деятельности. Авторы приходят к выводу, что в профессионально-направленном обучении иностранному языку в техническом вузе искусственный интеллект (ИИ) позволяет преодолеть разрыв между формальным математическим знанием и его практическим применением в инженерии, повышая мотивацию и эффективность обучения. Статья основана на опыте работы со студентами инженерных направлений подготовки.

Ключевые слова: искусственный интеллект, математическая лексика, профессиональное-ориентированное обучение, иностранный язык, техническое направление, персонализация, инженерное образование

Abstract

This article examines the problem of developing English mathematical vocabulary among students in technical fields of study. The relevance of the research is driven by the need to bridge the cognitive gap between formal mathematical knowledge, which operates with symbols and formulas, and its discursive realization in oral and written speech in a foreign language. The study explores the capabilities of artificial intelligence tools (using the DeepSeek neural network as an example) for adapting professionally oriented texts, personalizing learning content, and generaing exercises aimed at acquiring English mathematical terminology. Special attention is paid to transforming abstract mathematical concepts into applied engineering problems through the medium of a foreign language, enabling students to perceive the practical significance of language training for their future professional activities. The authors conclude that in professionally oriented foreign language teaching at technical university, artificial intelligence (AI) helps bridge the gap between formal mathematical knowledge and its practical application in engineering, thereby inhancing motivation and learning effectiveness. The article is based on experience working with students inf engineering majors.

Keywords: artificial intelligence, mathematical vocabulary, professionally oriented teaching, foreign language, technical education, personalization, engineering education

Введение

Одним из наиболее важных аспектов профессионально ориентированного обучения иностранному языку в техническом вузе является освоение профессиональной и, в частности, математической лексики. Математика выступает универсальным языком инженерии, однако для студента переход от абстрактных формул и символов к их устному выражению на иностранном языке представляет значительную когнитивную трудность. Как показывают наши наблюдения, студенты часто понимают математическую запись, но не могут её интерпретировать или описать словами на английском языке, что зачастую становится препятствием для устных выступлений на конференциях различного уровня, а также для участия в международных проектах, требующих навыков профессионального общения. Традиционные учебные пособия по иностранному языку, как правило, не уделяют достаточного внимания формированию математического дискурса, ограничиваясь общеинженерной лексикой [1, 2, 3]. Как показывают исследования, посвященные анализу потребностей студентов в математическом английском языке, существует значительный разрыв между академическими требованиями и реальными языковыми навыками обучающихся [4, 5]. В этой связи возникает необходимость поиска новых инструментов, способных восполнить этот пробел. Искусственный интеллект (ИИ) открывает здесь беспрецедентные возможности для персонализации и адаптации учебных материалов под конкретные математические и инженерные задачи.

Методика

В основу экспериментальной работы была положена гипотеза о том, что использование инструментов искусственного интеллекта позволяет существенно повысить эффективность формирования англоязычной математической лексики у студентов технических направлений за счёт персонализации и контекстной адаптации учебных материалов. Методика включала три взаимосвязанных этапа.

На первом этапе осуществлялся отбор базовых математических понятий и конструкций, составляющих ядро профессионального дискурса в конкретной инженерной области (дифференциальные уравнения, тензоры, векторы, модуль упругости и др.).

На втором этапе с использованием нейросети DeepSeek по специально разработанным промптам генерировались варианты одного и того же математического содержания, адаптированные под разные инженерные специализации (механика, электротехника, авиастроение, математическое моделирование). Ключевым методическим приёмом являлась трансформация абстрактной математической формулы в конкретную инженерную задачу с одновременным введением корректной англоязычной терминологии.

На третьем этапе на основе сгенерированных текстов разрабатывались лексико-грамматические упражнения (множественный выбор, заполнение пропусков, установление соответствий), направленные на отработку устойчивых навыков употребления математической лексики и типичных для математического дискурса грамматических конструкций (пассивный залог, модальные глаголы, условные предложения) в профессионально значимом контексте.

Такая трёхэтапная модель позволила обеспечить не только запоминание терминов, но и осмысленное освоение математического дискурса на иностранном языке, что соответствует современным подходам к обучению математике на английском языке, описанным в методической литературе [1, 6].

Основная часть

Дисциплина «Иностранный язык» в техническом вузе призвана формировать у студентов не только общекультурные, но и профессиональные компетенции, неразрывно связанные с их будущей инженерной деятельностью. Однако, как показано в наших предыдущих исследованиях [7], освоение математической лексики на иностранном языке остаётся одной из наиболее трудноразрешимых задач в рамках профессионально-ориентированного курса. Причина кроется не столько в объёме терминологии, сколько в когнитивном разрыве между формальным математическим знанием, оперирующим символами и формулами, и его дискурсивным воплощением в устной и письменной речи на английском языке. Данная проблема неоднократно поднималась в работах, посвященных преподаванию английского языка для специальных целей (ESP) в инженерном образовании, а также в исследованиях, анализирующих особенности математических текстов на английском языке [1, 2]. Этот разрыв приводит к тому, что даже при наличии хороших базовых языковых навыков студенты оказываются неспособны корректно интерпретировать математическое содержание профессиональных текстов или аргументированно излагать свои инженерные решения на иностранном языке. Традиционные учебные пособия, как правило, обходят стороной специфику математического дискурса, что делает процесс обучения недостаточно эффективным и актуализирует поиск новых методических решений.

Ситуация существенно меняется с интеграцией в педагогическую практику инструментов искусственного интеллекта. Возможность построения индивидуальных траекторий обучения с помощью ИИ подробно рассматривается в работе Крыловой и соавторов [8], где подчёркивается, что технологии ИИ позволяют перейти от унифицированного подхода к персонализированной модели, способной максимально раскрыть потенциал каждого обучающегося. В контексте обучения математической лексике это означает, что одно и то же математическое понятие может быть раскрыто через призму разных инженерных специальностей, что значительно повышает мотивацию и осмысленность изучения.

Рассмотрим это на примере работы с нейросетью DeepSeek. Наиболее перспективным направлением является использование ИИ для преобразования абстрактных математических формул в конкретные инженерные контексты. Например, при работе с темой «дифференциальные уравнения» нейросеть DeepSeek может сгенерировать два разных текста для студентов-механиков и электротехников. Для механиков: «The differential equation describes the motion of a damped harmonic oscillator» (уравнение, описывающее колебания). Для электротехников: «This equation models the discharge of a capacitor in an RC circuit» (уравнение моделирующее разряд конденсатора).

Такой подход позволяет студенту увидеть, что одна и та же математическая конструкция наполняется разным профессиональным смыслом, что критически важно для формирования навыков адекватного математического обсуждения на иностранном языке.

В другом случае в качестве исходного материала был взят универсальный текст «Strength of Materials» («Сопротивление материалов»), содержащий базовые математические концепты: понятие деформации, напряжения, модуля упругости и др. С помощью промпта, требующего конкретизировать содержание текста для студентов разных направлений, нейросеть сгенери-

ровала два варианта, каждый из которых по-разному интерпретировал математическую сущность ключевых понятий.

Для студентов-автомобилестроителей математический аппарат сопротивления материалов раскрывался через расчётные модели реальных деталей: деформация прокладки головки блока цилиндров описывается линейной зависимостью от приложенной нагрузки, удлинение ремня ГРМ рассчитывается по формуле Гука. Студент видел, как абстрактные уравнения напрямую работают в его будущей деятельности.

Для студентов-математиков и специалистов по математическому моделированию акцент смещался на формальный аппарат: деформация представлялась как тензорное поле, напряжение – как векторная функция координат, а сам текст насыщался формулами и ссылками на методы конечных элементов. Это позволяло будущему математику увидеть знакомые конструкции на иностранном языке и освоить их корректное описание.

Наиболее показательным с точки зрения формирования математической лексики является второй вариант. Например, понятие «деформация» в тексте для математиков было представлено не просто как изменение формы, а как «a tensor field describing the relative displacement of material points» (тензорное поле, описывающее относительное смещение материальных точек), а «напряжение» – как «a second-order tensor representing internal forces per unit area» (тензор второго ранга, представляющий внутренние силы на единицу площади). Такая подача материала позволяет студенту не просто выучить новые слова, а освоить корректный математический дискурс на иностранном языке, что является ключевой компетенцией для чтения оригинальных научных статей и написания собственных работ.

Кроме того, данный подход решает проблему, описанную в нашей предыдущей работе [7], где отмечалось, что студенты часто не видят связи между языковой подготовкой и их профессиональными математическими дисциплинами. Когда будущий инженер-математик видит, что иностранный язык помогает ему лучше понять суть тензорного анализа или метода конечных элементов, его отношение к предмету кардинально меняется – язык перестаёт быть «второстепенной» дисциплиной и становится инструментом профессионального роста.

Данный вывод подтверждается личным опытом автора (Галиахметова А.А.), который, на первом курсе столкнулся с изучением дисциплины «Линейная алгебра». В перечень обязательных тем входил раздел «Аналитическая геометрия», традиционно считающийся одним из наиболее трудных для восприятия студентов. Освоение материала затруднялось не только абстрактностью геометрических понятий, но и необходимостью одновременно усваивать новую математическую терминологию на русском языке, которая впоследствии потребовала бы корректного перевода и использования в англоязычной профессиональной литературе.

Использование нейросети DeepSeek позволило значительно облегчить этот процесс. С помощью персонализированных промптов были сгенерированы тексты, в которых ключевые понятия аналитической геометрии раскрывались через призму будущей инженерной специализации. Например, понятие «вектор» перестало представляться математическим объектом и предстало как «force vector acting on an aircraft wing» (вектор силы, действующей на крыло самолета) для студентов авиастроительного профиля.

Такой подход позволил не только понять важные определения и формулы, но и сформировать устойчивую ассоциативную связь между математическим объектом, его буквальным описанием на русском языке и корректным англоязычным эквивалентом. Это существенно сократило время на освоение темы, заложило основу для дальнейшего чтения профессиональной англоязычной литературы по специальности.

Второе важное направление применения ИИ – разработка тестовых материалов, направленных на формирование устойчивых навыков использования математической лексики в профессиональном контексте. Как показано в исследовании Лаптевой Е.Ю. и Крыловой А.С. [9], при построении образовательной траектории крайне важно выделить лексико-грамматические особенности, характерные для конкретного профессионального дискурса, и опреде-

лить те аспекты, которые могут вызвать затруднения у студентов. В случае с математической лексикой такими «точками напряжения» являются, во-первых, корректное употребление терминов, имеющих разные значения в общем языке и в математике (например, function, matrix, vector, field), а во-вторых, грамматические конструкции, типичные для описания математических процессов (пассивный залог, модальные глаголы, условные предложения).

Нейросеть DeepSeek позволяет генерировать разнообразные тестовые задания (множественный выбор, установление соответствий, заполнение пропусков) с учётом заданной темы, уровня сложности и необходимого объёма. Эффективность подобных инструментов подтверждается исследованиями в области ESP, которые подчеркивают важность контекстуального обучения лексике для формирования профессиональной коммуникативной компетенции [6, 3]. При этом критически важным является то, что грамматические явления отрабатываются не на изолированных предложениях, а в контексте, непосредственно связанном с будущей профессиональной деятельностью студента. Приведём пример из нашей практики.

Стояла задача: отработка модальных глаголов в контексте математического моделирования. Нейросеть генерировала предложения, в которых модальные глаголы (can, must, should, may) сочетались с математической терминологией: «The function can be differentiated if it is continuous», «The boundary conditions must be specified before solving the equation», «The model should account for nonlinear effects». Студенты должны были не просто выбрать правильную форму, но и объяснить, почему в данном контексте используется именно этот модальный глагол, что способствовало глубокому пониманию как грамматики, так и математического смысла высказывания.

Выводы

Проведённый анализ и практический опыт показывают, что интеграция инструментов искусственного интеллекта в процесс обучения математической лексике на иностранном языке позволяет решить ряд ключевых проблем: персонализировать содержание обучения под конкретную инженерную специализацию, используя единые математические понятия; преодолеть разрыв между формальным математическим знанием и его вербальным выражением на иностранном языке; повысить мотивацию студентов за счет демонстрации прямой связи языковой подготовки с их будущей профессиональной деятельностью. При этом важно учесть, что ИИ не заменяет преподавателя, а становится его мощным помощником, трансформируя образовательный процесс и выводя его на качественно новый уровень.

Список литературы

1. Касаткина, Т. Ю. Особенности математических текстов на английском языке / Т. Ю. Касаткина // Стратегии межкультурного взаимодействия в контексте мирового образовательного пространства: Опыт и перспективы : Материалы IX Международной научно-практической конференции, Ижевск, 28 ноября 2022 года / Сост. Л. А. Юшкова. – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2022. – С. 68-71. – EDN WLEOMR.

2. Lee O., Stephens A. English learners in STEM subjects: contemporary views on STEM subjects and language with English learners // Review of Research in Education. – 2020. – Vol. 44, № 1. – P. 254–280. – DOI: 10.3102/0013189X20923708.

3. Munson K. English for specific purposes: a math preparation course [Электронный ресурс]. – URL: https://www.kaisei.ac.jp/wp-content/uploads/2017/2016_55_4.pdf (дата обращения: 23.06.2026).

4. English for mathematics in the university context: a needs analysis [Электронный ресурс]. – URL: https://journals.muni.cz/casalc-review/article/download/39380/34044/72208 (дата обращения: 23.06.2026).

5. A needs analysis of English for mathematics in French higher education [Электронный ресурс]. – URL: https://journals.openedition.org/asp/9087?lang=en (дата обращения: 23.06.2026).

6. Костина, А. А. Методические основы обучения математике на английском языке / А. А. Костина // Актуальные проблемы математики и естественных наук : Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию доцента Р.А. Акбердина, Петропавловск, Барнаул, Сургут, Новосибирск, 04 февраля 2022 года. – Сургут: Сургутский государственный педагогический университет, 2022. – С. 424-428. – EDN PXQQOI.

7. Krylova, A. S. Communicative, pragmatic and linguocognitive aspects of texts selection for engineering education at technical university / A. S. Krylova // 13–14 ноября 2025 года, 2026. – P. 578-581. – EDN HDSMDJ.

8. Крылова, А. С. Практическое применение искусственного интеллекта в обучении иностранному языку в техническом вузе / А. С. Крылова, Ж. И. Айтуганова // Проблемы современного педагогического образования. – 2026. – № 91-4. – С. 184-187.

9. Лаптева, Е. Ю. Особенности формирования навыка рецептивного и продуктивного использования пассивных конструкций на занятиях по иностранному языку в техническом вузе / Е. Ю. Лаптева, А. С. Крылова // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2024. – № 213. – С. 63-73. – DOI 10.33910/1992-6464-2024-213-63-73. – EDN MFPAER.

УДК 796.015

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СПОРТИВНОЙ ПОДГОТОВКЕ ДЕТЕЙ СРЕДНЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ КООРДИНАЦИИ

Галиуллин А.Р., преподаватель кафедры физической культуры ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия;
E-mail: Princessdinara@yandex.ru

DIGITAL TECHNOLOGIES IN SPORTS TRAINING OF MIDDLE SCHOOL-AGED CHILDREN: METHODOLOGICAL APPROACHES TO DEVELOPING COORDINATION

Galiullin A.R., Lecturer, Department of Physical Education, Volga Region State University of Physical Education, Sports, and Tourism, Kazan, Russia;
E-mail: Princessdinara@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматриваются теоретические и методологические аспекты применения цифровых технологий в процессе спортивной подготовки детей среднего школьного возраста с акцентом на развитие координационных способностей. Анализируются современные подходы к интеграции цифровых устройств (фитнес-трекеры, мобильные приложения, VR-тренажеры) в тренировочный процесс. Обосновывается эффективность использования цифровых инструментов для объективизации контроля координационных способностей, персонализации нагрузок и повышения мотивации юных спортсменов. Представлены результаты анализа научно-методической литературы по проблеме исследования, выявлены основные методологические принципы внедрения цифровых технологий в подготовку детей 9–10 лет. Определены перспективные направления дальнейших исследований в области цифровизации спортивной подготовки детей среднего школьного возраста.

Ключевые слова: цифровые технологии, координационные способности, спортивная подготовка, дети среднего школьного возраста, фитнес-трекеры, методологические подходы, геймификация, персонализация тренировок

Abstract

The article examines theoretical and methodological aspects of applying digital technologies in the sports training of middle school-aged children, with an emphasis on the development of coordination abilities. It analyzes contemporary approaches to integrating digital devices (fitness trackers, mobile applications, VR simulators) into the training process. The effectiveness of using digital tools for objective monitoring of coordination abilities, personalizing training loads, and increasing young athletes' motivation of young athletes is substantiated. The results of an analysis of scientific and methodological literature on the research problem are presented, and the key methodological principles for implementing digital technologies in the training of children 9-10 years old are identified. Promising areas for further research in the field of digitalization of sports training for middle school-aged children are identified.

Keywords: digital technologies, coordination abilities, sports training, school-aged children, fitness trackers, methodological approaches, gamification, personalization of training

Современная система спортивной подготовки детей среднего школьного возраста переживает этап активной цифровой трансформации. Традиционные методы развития физических качеств, в частности координационных способностей, требуют переосмысления в контексте доступности новых технологических решений. Возраст 9–10 лет характеризуется сенситивностью для развития координационных способностей, что делает данный период наиболее благоприятным для целенаправленного педагогического воздействия с использованием инновационных средств.

Как отмечают исследователи, «цифровые технологии в физической культуре и спорте открывают новые возможности для объективизации контроля, персонализации нагрузок и повышения мотивации занимающихся» [2, с. 32]. Однако, несмотря на очевидный потенциал цифровых инструментов, их системное применение в подготовке юных спортсменов остается недостаточно разработанным в методологическом плане.

Актуальность исследования обусловлена противоречием между широким распространением цифровых устройств в повседневной жизни детей и недостаточной научно обоснованной методической базой их применения в спортивной подготовке. Согласно данным научной литературы, «большая часть учеников школ активно пользуются приложениями для смартфонов, что указывает на необходимость работы именно по этому направлению» [3, с. 105].

Цель исследования – теоретическое обоснование методологических подходов к применению цифровых технологий в развитии координационных способностей детей среднего школьного возраста в процессе спортивной подготовки.

Координационные способности представляют собой сложное многокомпонентное психофизическое качество, включающее способность к согласованию движений, ориентированию в пространстве, дифференцированию мышечных усилий, реагированию на сигналы, равновесию и ритмической перестройке двигательных действий. Возраст 9–10 лет является сенситивным для развития большинства координационных способностей, что обусловлено активным созреванием сенсомоторных систем и совершенствованием механизмов регуляции движений.

В структуре координационных способностей исследователи выделяют следующие компоненты:

– ориентировочная способность – умение определять и изменять положение тела в пространстве и времени;

– дифференцировочная способность – способность к тонкому различению параметров движений (силовых, временных, пространственных);

– реагирующая способность – быстрота и адекватность ответных двигательных действий на внешние сигналы;

– равновесие – способность сохранять устойчивость позы в статике и динамике;

– ритмическая способность – способность точно воспроизводить заданный ритм движений.

Традиционная методика развития координационных способностей предполагает использование широкого круга средств: общеразвивающих упражнений, подвижных игр, специальных подготовительных упражнений, тренажерных устройств. Однако, как справедливо отмечается в научной литературе, «инновационные методы преподавания физической культуры в условиях цифровизации образования требуют адаптации к индивидуальным потребностям учащихся и объективной оценке их прогресса» [4, с. 1].

Анализ научно-методической литературы позволяет выделить несколько категорий цифровых технологий, применимых в процессе спортивной подготовки детей среднего школьного возраста:

1. Носимые цифровые устройства (фитнес-трекеры и смарт-часы)

Данная категория устройств предназначена для непрерывного мониторинга физиологических показателей в режиме реального времени. Как показывают исследования, фитнес-трекеры «точно измеряют пульс, пройденное расстояние или потраченные калории, что способствует постановке реалистичных целей и мотивации» [5, с. 24]. В контексте развития координационных способностей носимые устройства позволяют: объективизировать контроль интенсивности и объема нагрузок; отслеживать динамику восстановительных процессов; выявлять индивидуальные особенности реакции организма на координационно-сложные упражнения.

2. Мобильные приложения для анализа движений

Использование смартфонов и планшетов с установленными специализированными приложениями открывает возможности для видеоанализа техники движений. Педагогическая ценность мобильных устройств заключается в возможности «анализа биомеханики и видеоповторов» [5, с. 30]. Специальные приложения (например, Coach's Eye, Dartfish) позволяют: записывать и замедленно воспроизводить выполнение упражнений; проводить сравнительный анализ техники с эталонными образцами; фиксировать прогресс в развитии координационных способностей.

3. Виртуальная и дополненная реальность (VR/AR)

Наиболее инновационным направлением являются VR- и AR-технологии, которые, по мнению исследователей, могут использоваться для «отработки техники сложных элементов (прыжки, гимнастика)» [4, с. 2]. Сценарии применения включают: VR-тренажеры для моделирования спортивных ситуаций; AR-приложения с 3D-анимацией движений; интерактивные программы для развития пространственной ориентировки.

4. Геймифицированные платформы

Элементы геймификации – система достижений, рейтингов, виртуальных наград – интегрируются в тренировочный процесс с целью повышения мотивации детей. «Геймификация обучения через челленджи с наградами за достижения» [4, с. 3] позволяет сделать процесс развития координационных способностей более привлекательным для детей среднего школьного возраста.

На основе анализа научной литературы и практического опыта внедрения цифровых технологий в спортивную подготовку детей среднего школьного возраста можно выделить следующие методологические принципы:

Принцип системности

Цифровые технологии должны быть интегрированы в тренировочный процесс не как отдельные элементы, а как компонент целостной методической системы. Это предполагает взаимосвязь цифрового контроля, анализа и коррекции тренировочных воздействий. Как отмечают исследователи, «интеграция технологий – это инструмент, делающий занятия спортом интереснее, информативнее и результативнее» [5, с. 24].

Принцип возрастного соответствия

Технические средства и программное обеспечение должны соответствовать возрастным особенностям детей среднего школьного возраста. Это касается как эргономических характеристик устройств, так и интерфейса приложений. Чрезмерное усложнение технического оснащения может стать препятствием к эффективному использованию цифровых технологий.

Принцип объективизации контроля

Цифровые технологии позволяют перейти от субъективной оценки координационных способностей к объективным количественным показателям. Мониторинг частоты сердечных сокращений, времени реакции, точности выполнения движений обеспечивает надежную основу для оценки эффективности тренировочного процесса.

Принцип персонализации

Одним из ключевых преимуществ цифровых технологий является возможность индивидуализации тренировочных воздействий. Анализируя данные о физиологических и биомеханических параметрах каждого ребенка, тренер может корректировать нагрузку и подбирать оптимальные средства для развития координационных способностей. Как подчеркивается в исследовании Сухановой Е.Ю. и соавторов, «цифровые технологии позволяют персонализировать обучение» [4, с. 1].

Принцип мотивационной направленности

Развитие координационных способностей требует от детей значительного волевого усилия, так как связано с преодолением координационной сложности движений. Цифровые инструменты, реализующие элементы геймификации и соревновательности, способствуют повышению мотивации и устойчивости интереса к занятиям.

Эффективное внедрение цифровых технологий в процесс развития координационных способностей детей среднего школьного возраста требует учета следующих организационно-методических аспектов:

Подготовка педагогических кадров

Активное использование цифровых технологий предполагает наличие у тренера-преподавателя соответствующих компетенций. Как отмечается в материалах Министерства просвещения РФ, «подготовка и повышение квалификации педагогических кадров для работы с новым направлением является приоритетной задачей» [6, с. 3]. Владение современными цифровыми инструментами становится не дополнительным, а обязательным требованием к профессионализму специалиста в области физической культуры и спорта.

Для полноценного применения цифровых технологий необходим минимальный набор технических средств: фитнес-браслеты или смарт-часы (возможно использование личных устройств по принципу BYOD – Bring Your Own Device), планшеты или смартфоны с установленными приложениями для видеоанализа, доступ к интернет-платформам для мониторинга и обработки данных. Как показывает практика, «использование BYOD (Bring Your Own Device)» [4, с. 4] является одним из путей решения проблемы нехватки оборудования.

Интеграция в структуру тренировочного занятия

Цифровые технологии могут применяться на различных этапах тренировочного занятия: в подготовительной части – для оценки функционального состояния организма перед нагрузкой; в основной части – для контроля выполнения координационно-сложных упражнений; в заключительной части – для оценки восстановительных процессов.

Получаемые цифровые данные требуют грамотной интерпретации. Тренер должен обладать компетенциями в области спортивной метрологии, чтобы на основе количественных показателей принимать обоснованные педагогические решения. Как отмечает Е.Ю. Суханова с соавторами, «цифровые технологии дают возможность не просто выполнять упражнения, но и объективно оценивать свои результаты, ставить перед собой конкретные цели и отслеживать прогресс» [3, с. 107].

В научной литературе представлены данные об эффективности применения цифровых технологий в процессе физического воспитания и спортивной подготовки детей. Сравнительный анализ результатов педагогических экспериментов показывает, что внедрение цифровых инструментов способствует:

– повышению объективности контроля координационных способностей. Использование видеоанализа и датчиков движения позволяет фиксировать изменения биомеханических параметров с высокой точностью, что невозможно при традиционных методах педагогического наблюдения;

– ускорению освоения сложно-координационных движений. Возможность видеоповторов и замедленного просмотра помогает детям осознавать свои ошибки и быстрее корректировать технику движений;

– увеличению моторной плотности занятий. Использование цифровых устройств для самоконтроля сокращает время пауз между упражнениями, так как ребенок может самостоятельно оценивать параметры выполнения задания;

– повышению мотивации и познавательного интереса. Как показывают экспериментальные данные, «внедрение челленджей с наградами за достижения» [4, с. 3] способствует устойчивому интересу детей к занятиям.

Однако, как справедливо отмечают исследователи, «использование цифровых технологий является неэффективной мерой» [3, с. 106] при отсутствии методически грамотного подхода. Эффективность цифровых инструментов определяется не их наличием, а качеством интеграции в тренировочный процесс и профессионализмом тренера-преподавателя.

Анализ научно-методической литературы и практики применения цифровых технологий позволяет выделить следующие ограничения и проблемы:

Материально-технические ограничения

Высокая стоимость VR-гарнитур, специализированных датчиков и программного обеспечения является существенным препятствием для широкого внедрения цифровых технологий в спортивную подготовку детей. Как отмечает П.А. Верховодов, «нехватка оборудования – высокая стоимость VR-гарнитур и датчиков» [4, с. 4] остается одной из главных проблем.

Использование цифровых устройств может отвлекать детей от основной цели занятия. Кроме того, чрезмерное увлечение техническими средствами может приводить к снижению внимания к собственным телесным ощущениям, что критически важно для развития координационных способностей.

Исследователи выделяют факторы, «связанные с учителями», как одну из причин, замедляющих интеграцию цифровых технологий в образовательный процесс [3, с. 105]. Недостаточная квалификация педагогов в области цифровых технологий и сопротивление новым методам являются существенными барьерами.

Использование цифровых устройств, собирающих персональные данные о состоянии здоровья детей, требует соблюдения мер кибербезопасности. Как подчеркивается в научной литературе, существует «риски утечки персональных данных» [4, с. 4], что требует разработки регламентов и нормативных документов.

На основе проведенного теоретического анализа можно выделить следующие перспективные направления дальнейших исследований в области применения цифровых технологий для развития координационных способностей детей среднего школьного возраста:

1. Разработка специализированных цифровых платформ для комплексного мониторинга координационных способностей, интегрирующих данные с различных носимых устройств и обеспечивающих визуализацию динамики развития.

2. Создание методических рекомендаций по применению цифровых технологий на разных этапах многолетней спортивной подготовки с учетом возрастных и индивидуальных особенностей занимающихся.

3. Изучение влияния цифровых технологий на формирование внутренней мотивации к занятиям спортом и развитие самостоятельности в тренировочном процессе.

4. Разработка моделей «цифрового дневника физического развития» [4, с. 4], позволяющего ребенку и тренеру отслеживать прогресс в развитии координационных способностей на протяжении длительного времени.

5. Интеграция искусственного интеллекта для прогнозирования риска травматизма при выполнении координационно-сложных упражнений [4, с. 4].

Проведенный теоретический анализ проблемы применения цифровых технологий в спортивной подготовке детей среднего школьного возраста позволяет сделать следующие выводы.

Цифровые технологии представляют собой эффективный инструмент развития координационных способностей детей 9–10 лет при условии их методически грамотного применения. Основными типами цифровых устройств, применимых в процессе развития координационных способностей, являются носимые фитнес-трекеры, мобильные приложения для анализа движений, VR/AR-тренажеры и геймифицированные платформы. Методологическими принципами применения цифровых технологий выступают системность, возрастное соответствие, объективизация контроля, персонализация и мотивационная направленность. Успешность внедрения цифровых технологий определяется не столько техническим оснащением, сколько профессиональной компетентностью тренера-преподавателя и качеством интеграции цифровых инструментов в целостную методическую систему развития координационных способностей.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на разработку конкретных методик применения цифровых технологий для развития координационных способностей детей среднего школьного возраста с учетом специфики различных видов спорта.

Список литературы

1. Ахмедов, А. О. Использование фиджитал-технологий в повышении уровня физической подготовленности учащихся школ на секционных занятиях по спортивным играм / А. О. Ахмедов, С. Б. Элипханов, А. А-К. Умаров, С.-М. М. Джулагов // Проблемы современного педагогического образования. – 2024. – № 3. – С. 45–52. – DOI: 10.32744/pse.2024.3.26.

2. Бондарь, А. А. Особенности методики развития координационных способностей баскетболистов с использованием компьютерных технологий / А. А. Бондарь // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2015. – № 6 (124). – С. 32–36.

3. Клейменова, М. Д. Оптимизация оперативного контроля в физическом воспитании с помощью цифровых технологий на основе пульсовых показателей / М. Д. Клейменова, С. Ю. Витько, П. Н. Звягинцев, А. Ф. Щербина, В. А. Иванов // Человек. Спорт. Медицина. – 2025. – Т. 25, № 2. – С. 103–111. – DOI: 10.14529/hsm250212. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-operativnogo-kontrolya-v-fizicheskom-vospitanii-s-pomoschyu-tsifrovyh-tehnologiy-na-osnove-pulsovyh-pokazateley (дата обращения: 26.06.2026).

4. Кудаярова, А. М. Использование нейроскакалки на занятиях по физической культуре с детьми старшего дошкольного возраста [Электронный ресурс] / А. М. Кудаярова // Современные здоровьесберегающие технологии в ДОУ. – 2024. – URL: https://www.vospitatelds.ru/conference_notes/326 (дата обращения: 26.06.2026).

5. Орехова, И. В. Влияние фитнес-гаджетов на мотивацию школьников к занятиям физической культурой / И. В. Орехова, Е. А. Егорова // Физическая культура в школе. – 2025. – № 4. – С. 24–30.

6. Праслов, Н. А. Инновационные технологии в физическом воспитании детей [Электронный ресурс] / Н. А. Праслов // Арт-Талант. – 2022. – URL: https://www.art-talant.org/publikacii/87459-praslov-nikolay-aleksandrovich (дата обращения: 26.06.2026).

7. Суханова, Е. Ю. Цифровые технологии в преподавании физической культуры / Е. Ю. Суханова, Ю. Л. Першин, Н. Н. Штукин // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. – 2023. – № 3-2. – С. 104–107.

8. Устимчук, А. В. Особенности применения технологии виртуальной реальности в спорте / А. В. Устимчук, В. В. Маринич // Здоровье для всех. – 2024. – № 1. – С. 58–64.

9. Фиджитал-танцы на уроке физкультуры: будущие педагоги учатся внедрять современные технологии в образовательный процесс [Электронный ресурс] // Волгоградский государственный социально-педагогический университет. – 2026. – URL: https://www.vspu.ru/news-article/4696 (дата обращения: 26.06.2026).

10. Щепотьев, А. М. Фиджитал-сборы – новая перспективная педагогическая технология [Электронный ресурс] / А. М. Щепотьев // Homo Cyberus. – 2023. – № 2 (15). – URL: http://journal.homocyberus.ru/Shchepotyev_AM_2_2023 (дата обращения: 26.06.2026).

УДК 004.89

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ УЧЕБНОГО ПОВЕДЕНИЯ И УРОВНЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

Геворгян Г.Л., студент Института кибербезопасности и цифровых технологий;
ORCID: 0009-0001-2828-9366;
E-mail: gagikgevg@mail.ru;
Котилевец И.Д., к.т.н., старший преподаватель кафедры КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных», МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com

MODELING THE MUTUAL INFLUENCE OF LEARNING BEHAVIOR FACTORS AND STUDENT KNOWLEDGE LEVELS USING FUZZY COGNITIVE MAPS

Gevorgyan G.L., Student, Institute of Cybersecurity and Digital Technologies;
ORCID: 0009-0001-2828-9366;
E-mail: gagikgevg@mail.ru;
Kotilevets I.D., Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, Department KB-14 «Digital Data Processing Technologies», MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com

Аннотация

Проблема прогнозирования мотивационного состояния студентов для преподавателей, чтобы более точно оценивать знания обучающихся, актуальна по сей день. Современные системы дистанционного обучения генерируют огромные объемы неструктурированной информации о поведении пользователя, но классические модели машинного обучения не всегда хорошо предсказывают поведение студента. Они оценивают данные как линейные статистически зависимости и не способны эффективно моделировать нелинейное, цикличное взаимное влияние множественных мотивационных факторов, при это обращая внимание на психологические концепции. Для решения проблем с данными ограничениями был рассмотрен математический аппарат нечетких когнитивных карт, что справляется с работой с цикличной

динамикой – инструмент переводит абстрактные психологические концепции в строгую логику причинно-следственных связей, что подходит для оценки мотивации обучающегося.

Был рассмотрен междисциплинарный подход, который объединяет Теорию самодетерминации (SDT), Теорию ожиданий и ценности (EVT), а также прикладную мотивационную Модель внимания, значимости, уверенности и удовлетворенности (ARCS). Были алгоритмически выявлены факторы для оценки взаимодействия студента со средой обучений, которые рассчитываются на основе прошлых действий обучающегося. Метрики автоматически рассчитывались и интегрировались в логику нечетких когнитивных карт как узлы системы.

Дальнейший анализ использует корреляционные связи и психологические паттерны для построения взвешенного ориентированного графа – данная структура достоверно оценивает динамику учебного поведения. Она также использует итерационное обновление состояний с помощью сигмоидальной функции активности. Для проверки системы были проведены ряд экспериментов, где искусственно завышались и занижались значения некоторых факторов.

Результаты проведенных экспериментов и глубокого моделирования показали, что предложенная архитектура на базе нечеткой логики превосходит статические алгоритмы предсказывания. Разработанный аппарат и созданный программный комплекс могут быть напрямую внедрены в вычислительное ядро современных адаптивных рекомендательных платформ для автоматического формирования индивидуальных образовательных траекторий и своевременного применения точечных педагогических вмешательств.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные карты, образовательный анализ данных, прогнозирование успеваемости, SDT, EVT, ARCS, цифровой след студента, извлечение признаков, мотивационное моделирование

Abstract

Predicting students' motivational states remains a relevant challenge for educators seeking to assess learner knowledge more accurately. While modern distance learning systems generate vast amounts of unstructured data on user behavior, classical machine learning models often struggle to predict student behavior effectively. These models typically treat data as linear statistical relationships and fail to capture the non-linear, cyclical interplay of multiple motivational factors – factors rooted in psychological concepts. To address these limitations, the study employs the mathematical framework of fuzzy cognitive maps, a tool capable of handling cyclical dynamics by translating abstract psychological concepts into a rigorous logic of cause-and-effect relationships, making it well-suited for assessing learner motivation.

An interdisciplinary approach was adopted, integrating Self-Determination Theory (SDT), Expectancy-Value Theory (EVT), and the applied ARCS model (Attention, Relevance, Confidence, and Satisfaction). Factors assessing the student's interaction with the learning environment were algorithmically identified and calculated based on the learner's past actions. These metrics were automatically computed and integrated into the fuzzy cognitive map framework as system nodes.

Subsequent analysis utilized correlations and psychological patterns to construct a weighted directed graph – a structure capable of reliably assessing the dynamics of learning behavior. The system also employs iterative state updates using a sigmoid activation function. To validate the system, a series of experiments were conducted in which the values of specific factors were artificially manipulated (increased or decreased).

The results of these experiments and in-depth modeling demonstrated that the proposed fuzzy logic-based architecture outperforms static prediction algorithms. The developed apparatus and software suite can be directly integrated into the computational core of modern adaptive recommendation platforms to automatically generate personalized educational pathways and timely implement targeted pedagogical interventions.

Keywords: fuzzy cognitive maps, educational data mining, academic performance prediction, SDT, EVT, ARCS, student digital footprint, feature extraction, motivational modeling

Введение

В условиях быстрого роста цифровизации сферы образования и внедрения дистанционного обучения и онлайн курсов, платформы начали накапливать различные транзакционные данные обучающихся. Эти цифровые следы фиксируют каждое действие студента на платформе, что при правильной интерпретации может помочь понять обстановку процесса обучения и оценить мотивацию обучающегося. Однако стоит учитывать то, что эти данные не линейны, между ними существует причинно-следственная связь.

Несмотря на высокую мощность методов машинного обучения в задачах классификации и регрессии, статистические традиционные подходы обладают концептуальным ограничением. Такие модели рассматривают параметры как независимые переменные, которые сильно влияют на целевой признак (например, балл за тест). Однако настоящий процесс обучения имеет сильно выраженную нелинейную и цикличную структуру. Уровень академических знаний и учебное поведение находятся в состоянии непрерывной петли обратной связи.

Чтобы преодолеть ограничения статического прогнозирования и учесть сложную структуру взаимосвязей факторов, в работе предлагается использовать нечеткие когнитивные карты (FCM). FCM предлагает представить факторы и связи между ними в виде взвешенного ориентированного графа, где факторы – это вершины графа, а связи между ними – ребра. Нечеткие когнитивные карты объединяют принципы нечеткой логики и нейронных сетей, что позволяет моделировать динамику системы через итеративный пересчет состояний концептуальных узлов.

Цель работы – разработка и программная реализация модели взаимного влияния факторов учебного поведения уровня знания студента на основе транзакционных логов с использованием нечетких когнитивных карт.

Для достижения цели в работе решаются следующие задачи:

– изучение теорий и моделей психических концепций во время учебного процесса;

– представление сырых данных действий студентов в нормализованные векторы факторов учебного поведения и уровня знаний;

– построение матрицы весов связей на основе корреляционного анализа и психических концепций;

– проектирование взвешенного ориентированного графа и симуляции нечеткой когнитивной карты;

– проведение динамических вычислительных экспериментов вида what-if.

Теоретические модели психологических концепций

Во время самостоятельного обучения у студента по-новому проявляются основные когнитивные процессы, так как в условия электронных сред обучения отсутствует прямой контроль со стороны преподавателя, а важную роль в успешности учебного процесса играют скрытые мотивационные и поведенческие факторы. Для вывода данных факторов и их введения в нечеткие когнитивные карты стоит обратиться к фундаментальным теориям и методам оценки психологических концепций учащегося.

Теория самодетерминации (SDT) утверждает, что внутренняя мотивация зависит от автономии (независимости от рекомендаций), компетентности (способности удерживать высокую успеваемость при решении более сложных задач) и самодетерминации (свободы действий учащегося). Теория ожиданий и ценности (EVT) оценивает учебное поведение как функцию от веры в успех и субъективной значимости задачи – студент проводит больше времени на изучение материала с мыслю о том, что он получит более высокую оценку. Мотивационная модель ARCS включает в себе четыре фактора – attention (внимание); relevance (значимость); confidence (уверенность); satisfaction (удовлетворенность). Она позволяет находить факторы удовлетворенности (когда студент добровольно возвращается к материалу для закрепления знаний), а также маркеры фрустрации при падении уверенности (например, слепое угадывание ответа). Вышеупомянутые теории и метод уже успешно использовались при анализе учеб-

ного поведения студента в разных исследованиях [1-3]. Для применения данных концепций к данным стоит вести факторы для оценки учебного поведения и обработать данные действий студента.

Введение факторов учебного поведения и обработка данных

Расчет мотивационных факторов будет произведен на основе транзакционных логов из датасета EdNet-KT3, который в себе включает набор данных обо всех взаимодействиях между студентами и системой дистанционного обучения Santa [4]. База данных включает в себе детальную последовательность образовательных событий, однако сырые данные нужно перевести в непрерывные факторы для последующей симуляции в нечетких когнитивных картах.

Для дальнейшего моделирования параметры из вышеупомянутых теорий и мотивационной модели превращаются в пять базовых факторов, которые однозначно идентифицируются в структуре датасета.

F1. Интенсивность – метрика отображает общий объем выполненной работы и рассчитывается как количество отправленных решений студентом. Большое значение говорит о высокой активности обучающегося.

F2. Рефлексивная вовлеченность – метрика показывает продолжительность взаимодействия с конкретными учебными материалами. Далее для каждого объекта рассчитывается разница во времени между открытием и закрытием. Для каждого студента выбирается медиана значений для отсечения аномальных сессий.

F3. Автономия – теория SDT определяет автономию как базовую потребность студента, а в цифровой среде она выражается в самостоятельном желании студента что-то изучить. Метрика рассчитывается как количество добровольных обращений к личным заметкам или свободных поисков в архиве.

F4. Сомнения – показатель считает степень неуверенности студента при выборе ответа. Алгоритм сравнивает общее число попыток ответить с количеством финальных отправок решения. Метрика падает до нуля при безошибочном выборе с первой попытки, а рост значения показывает на сомнение обучающегося. Однако повторный выбор может и показать тщательную проверку задания студентом перед отправкой.

F5. Компетентность – показатель оценивает степень правильных ответов на задания. Система проверяет правильность последнего выбранного ответа для каждого уникального вопроса. Метрика показывает объективную результативность, а не субъективное ощущение успеха обучающегося.

Однако кроме основных базовых факторов существуют и скрытые, которые не фиксируются журналом системы. Они конструируются на основе теоретических связей между базовыми метриками. Для выявления данных факторов стоит нормализовать первые параметры – привести их к единому диапазону [0,1]. Нормализованные метрики считаются следующей формулой (1):

$$F_{inorm} = \min\left(1, \frac{F_i}{pricentile(F_i, 95)}\right), \quad (1)$$

где $pricentile(F_i, 95)$ – 95 процентиль который убирает аномально большие значения.

При этом F5 можно не нормализовать, так как данная метрика изначально находится на нужном диапазоне. Далее были выделены следующие скрытые факторы.

F6. Внутренняя мотивация – метрика опирается на теории SDT. Она требует удовлетворения потребностей в автономии и компетентности. Значения вычисляются как среднее арифметическое нормализованных показателей вовлеченности, проактивности и компетентности. (2) При этом равные веса исключают субъективный перенос значимости.

$$F_6 = \frac{1}{3}F_{2norm} + \frac{1}{3}F_{3norm} + \frac{1}{3}F_5 \quad (2)$$

F7. Уверенность – метрика зависит от баланса успеха и сомнений. Достижения усиливают метрику, а колебания при выборе ответа – снижают (3). Максимальная уверенность фиксируется при высокой доле правильных ответов и минимуме переключений между ответами.

$$F_7 = \frac{1}{2}F_5 + \frac{1}{2}(1 - F_{4norm}) \quad (3)$$

F8. Упорство – метрика говорит о готовности студентом продолжить работу, Модель считается как среднее между интенсивностью и внутренней мотивацией учащегося (4).

$$F_8 = \frac{1}{2}F_6 + \frac{1}{2}F_{1norm} \quad (4)$$

F9. Ожидание успеха – в логике EVT показывает веру студента в свои силы перед задачей. Метрика объединяет уверенность и компетенции обучающегося (5). Высокая результативность в прошлом генерирует высокую результативность в будущем.

$$F_9 = \frac{1}{2}F_7 + \frac{1}{2}F_5 \quad (5)$$

Поскольку скрытые факторы не наблюдаются в логах системы и были рассчитаны на основе базовых факторов F1-F5 (существует математическая зависимость), их нужно осторожно использовать в качестве независимых узлов когнитивной карты. В дальнейшем развитии данной работы предполагается разделить входные наблюдаемые переменные и концепты FCM. А также пересмотреть представление скрытых факторов – представить их не в виде жестких математических правил, а как динамические переменные, которые считаются исходным состоянием конкретного обучающегося. Это позволит снизить влияние заранее математически выраженных факторов и более гибко оценивать студента на основе его психологических и поведенческих характеристик.

После введение и подсчета факторов психологических концепций нужно формировать матрицу связей и построить граф для нечеткой когнитивной карты.

Выявление связей между факторами и построение графа нечеткой когнитивной карты

Данный этап формирует матрицу связей нечеткой когнитивной карты на основе теоретических концепций и коэффициентов корреляций. Коэффициент корреляций Пирсона отлично подходит для выполнения этой задачи [5], она вычисляет силу линейных взаимодействий и возвращает положительное коэффициент при однонаправленном движении метрик или отрицательное при обратной зависимости. Перед подсчетом и построением корреляционной матрицы стоит снова данные нормализовать. Для нормализации выбирался метод Min-Max, который переводит данные в определенный диапазон [0,1].

После построения матрицы корреляции был анализ полученных коэффициентов. Было решено взять только коэффициенты, модуль которых больше 0,3, основываясь на шкалу размера эффекта Джейкоба Коэна [6] – коэффициенты, которые не проходили по этому условию – обнулились. Результат построенной матрицы корреляции представлен на рис. 1.

Нужно отметь об ограниченном анализе корреляций скрытых факторов – концепты F6-F9 математически зависят от базовых показателей F1-F5, что заранее гарантирует аномально положительную корреляцию между ними. Эти числовые пересечения нельзя трактовать как независимое доказательство причинности. Для этого было решено взять веса базовых факторов при расчете скрытых и их указать как веса при построении нечеткой когнитивной карты.

Для настоящей работы были построены связи и определены направления на основе ранее отмеченных теорий – SDT, EVT и ARCS. Изменение одной характеристики учебного процесса двигает остальные по цепочке. Были реализованы следующие связи и направления связей.

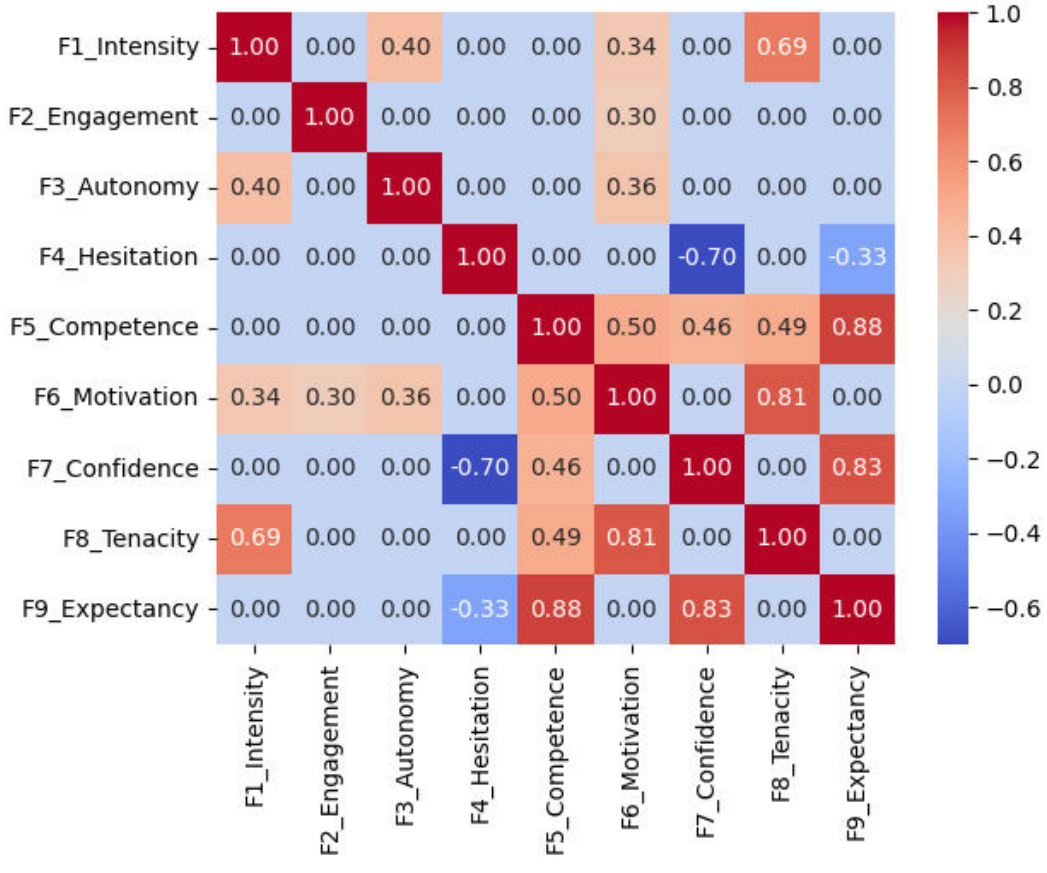


Рис. 1. Матрица корреляций

Таблица 1

Связи и их направления

От	До	Обоснование
F1	F8	Чем выше интенсивность практики студента, тем больше учебных усилий он прилагает, что связано с более высоким уровнем упорства.
F2	F6	Чем выше вовлеченность студента в изучение учебных материалов, тем выше его внутренняя мотивация к обучению.
F3	F1	Чем выше самостоятельная активность студента, тем выше интенсивность его учебной практики.
F3	F6	Автономная учебная активность способствует формированию внутренней мотивации.
F4	F7	Чем выше уровень сомнений студента, тем ниже его уверенность в собственных знаниях и правильности ответов.
F4	F9	Чем выше уровень сомнений студента, тем ниже его ожидание успешного выполнения учебных заданий.
F5	F7	Чем выше фактическая компетентность студента, тем выше его уверенность в собственных знаниях.
F5	F9	Чем выше фактическая компетентность студента, тем выше его ожидание успешного выполнения последующих учебных заданий.
F6	F1	Чем выше внутренняя мотивация студента, тем выше его готовность выполнять большее количество учебных заданий.

Окончание табл. 1

От	До	Обоснование
F6	F5	Более высокая внутренняя мотивация способствует сохранению учебных усилий, что может приводить к повышению фактической компетентности.
F6	F8	Чем выше внутренняя мотивация студента, тем выше его готовность сохранять учебные усилия и продолжать обучение.
F7	F9	Чем выше уверенность студента в собственных знаниях, тем выше его ожидание успешного выполнения учебных заданий.
F8	F5	Чем выше упорство студента и чем дольше он сохраняет учебные усилия, тем больше возможностей для повышения его фактической компетентности.

В результате была построена матрица весов (6) и граф нечеткой когнитивной карты (рис. 2). Следующим этапом исследования является симуляция FCM.

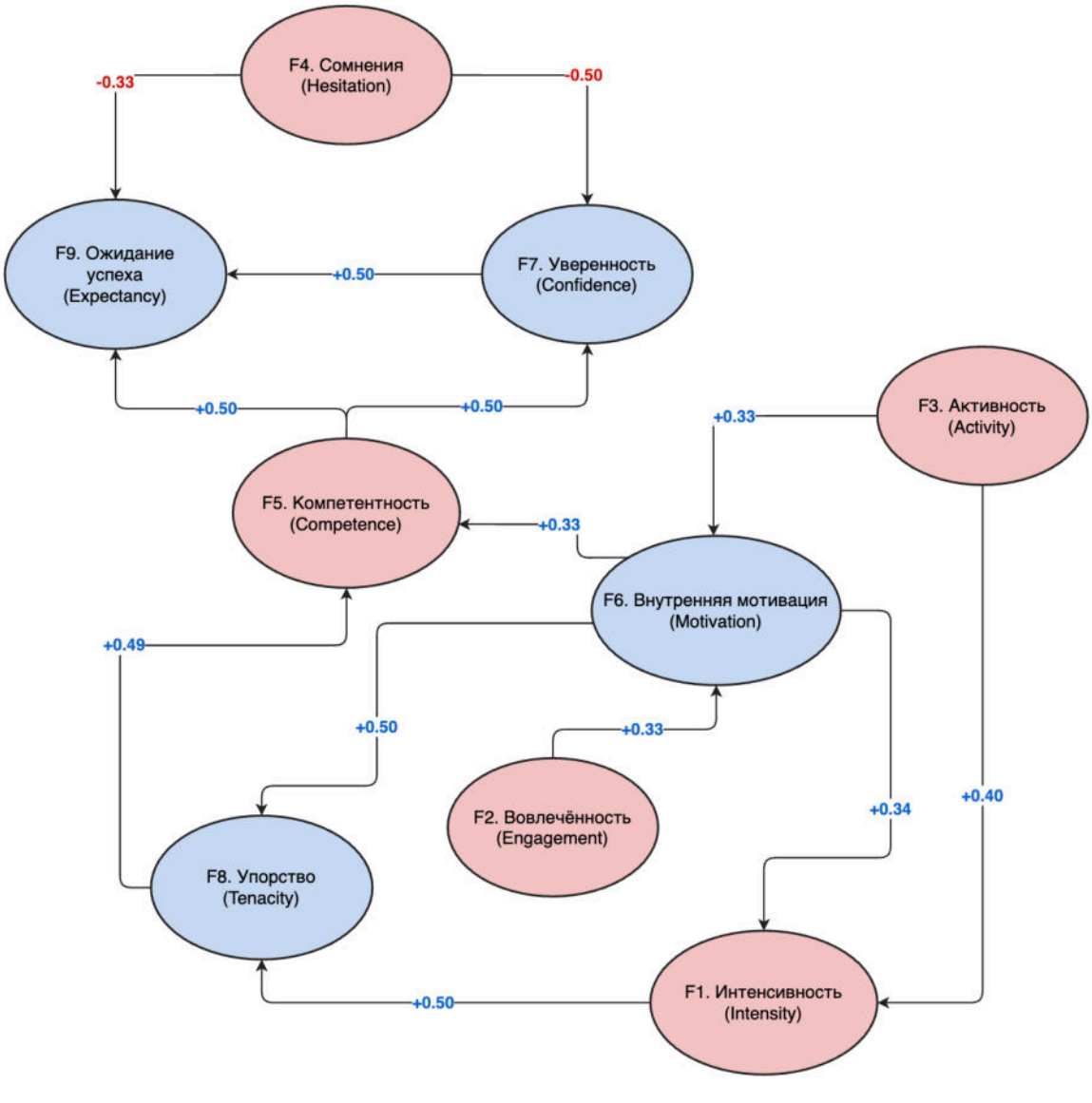


Рис. 2. Граф нечеткой когнитивной функции

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.5 & 0 & -0.33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0.34 & 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Симуляция нечеткой когнитивной карты

После утверждения структуры карты запускается моделирование модели – симуляции FCM. Симуляций показывает, как изменение одного фактора влияет на остальные и на общее состояние системы.

Ведется вектор $A(t) = [A_1(t), A_2(t), \dots, A_9(t)]$, где $A(t)$ статус узла на конкретном шаге итерации. Ранее представленная матрица весов регулирует взаимодействие концептов. Положительные веса стимулируют рост, а отрицательные в свою очередь – спад. Симулятору подается вектор $A(t)$ со значением факторов определенного студента. Далее с помощью правила Коско управляются распространение факторов внутри сети. Алгоритм вычисляет суммарное внешнее давление на каждый узел (7)

$$I_i(t) = \sum_{j=1}^{n} A_j(t) w_{ji} \quad (7)$$

Новое состояние фактора считается с помощью функции активации (8)

$$A_i(t+1) = f\left(A_i(t) + \sum_{j=1}^{n} A_j(t) \cdot w_{ji} \right), \quad (8)$$

где $f(x)$ – это функция принадлежности, выраженная через сигмоидальную функцию (9).

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(x-0.5)}} \quad (9)$$

Она сглаживает результаты пересчета и удерживает значения строго внутри диапазона [0,1].

Вычислительный процесс разворачивается через серию итераций. Вектор $A(0)$ трансформируется в $A(1)$, затем в $A(2)$ и так далее. Максимальный лимит шагов ограничен значением $t = 50$. Модель останавливается досрочно при достижении стабилизации. Алгоритм сравнивает состояния узлов на двух смежных тактах. Метрика $\Delta(t) = \max_i |A_i(t+1) - A_i(t)|$ фиксирует максимальное абсолютное отклонение. Условие $\Delta(t) < \varepsilon$ при пороге $\varepsilon = 10^{-4}$ служит критерием остановки. Финальный вектор A(n) фиксирует устойчивый баланс системы.

Сначала алгоритм прогоняет симуляцию без внешнего вмешательства. Алгоритм находит естественную точку равновесия для исходных параметров. Целевой фокус часто смещается на фактор ожидания успеха (F9). Его динамика зависит от трансформации смежных индикаторов уверенности (F7) и компетентности (F5). На основе нормализованного датасета были найдены средние значения факторов и записаны в виде вектора $A(t)$. Считается, что это среднестатистический студент.

На рисунке 4 представлена работа симулятора без внешнего вмешательства со значениями факторов среднестатистического студента. Запуск вычислений выводит систему из статического состояния, а дальше система стабилизировалась между 15 и 20 итерациями. Траектории узлов строго подчиняются заложенной матрице связей. Максимальный прирост показывают компетентность (F5), уверенность (F7) и ожидание успеха (F9). Концепты без активных входящих ребер на стартовых отметках. Программная реализация алгоритма подтверждает свою математическую корректность.

Далее был проведен эксперимент – значение параметра сомнений был искусственно увеличен и зафиксирован значением равным 0,95 (рисунок 5). Сеть отвечает предсказуемым эффектом спада – показатель уверенности (F7) падает, а следом снижается ожидание успеха (F9). Разница с базовым прогнозом становится очевидной. Изначально метрика F9 стремилась к максимуму – 1,0. После вмешательства ее рост останавливается на уровне 0,85. Уверенность стабилизируется около 0,70, а остальные узлы графа сохраняют прежние траектории.

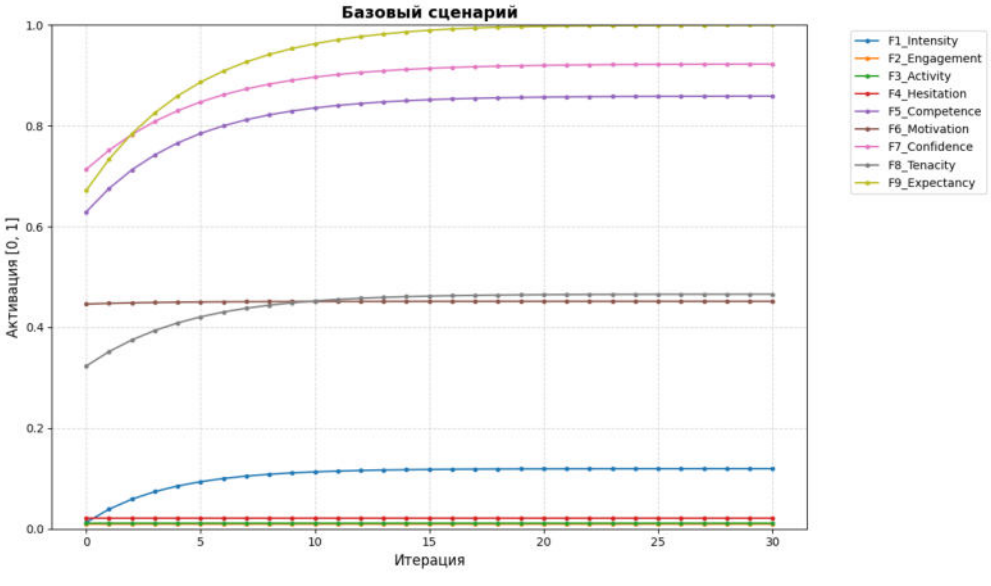


Рис. 4. Работа симулятора при вводе факторов среднестатистического студента

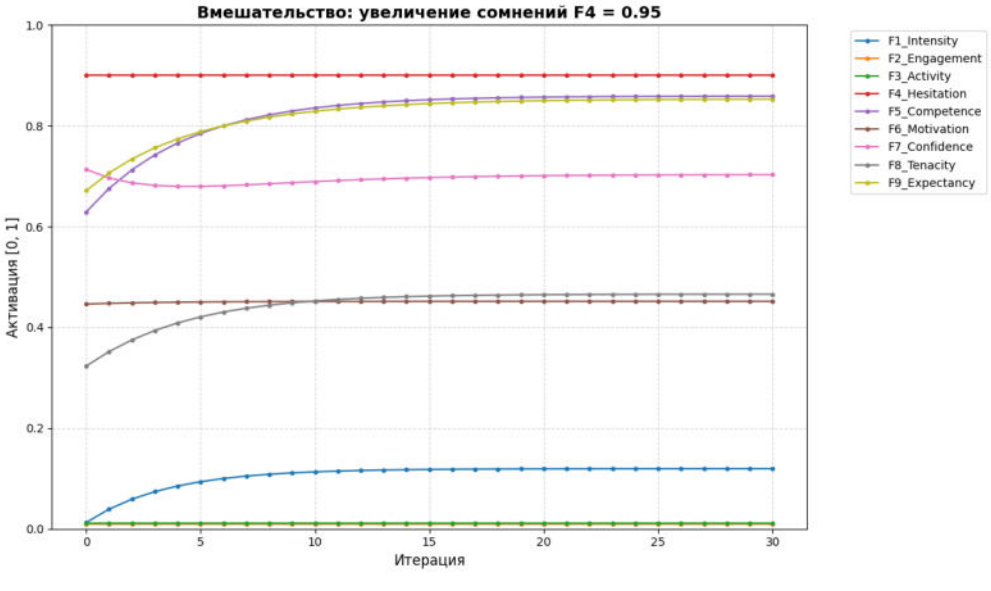


Рис. 5. Работа симулятора при вводе факторов среднестатистического студента и искусственно увеличенного фактора сомнения

Сравнение двух тестов подтверждает работоспособность симулятора. Целенаправленное искажение одного параметра корректно расходится по связанным концептам. Программа точно отрабатывает веса и направления связей, а инструмент успешно справляется с задачами сценарного моделирования.

Заключение

В данной работе была разработанная модель для анализ учебного поведения из статики в динамическую симуляцию на основе нечетких когнитивных карт. Были получены и обработаны логи из платформы дистанционного обучения для студентов, а после были сформулированы с базовые и скрытые поведенческие факторы на основе психологических концепций. Архитектура нечетких когнитивных карт объединила метрики в сеть с заданными векторами и весами. Цифровая матрица превратилась в работающий симулятор студенческого профиля. Был проведен эксперимент, где система корректно отработала причинно-следственные связи. Изменение одного параметра закономерно расходится по смежным концептам до полной стабилизации графа. Искусственный рост сомнений предсказуемо подавляет уверенность и снижает ожидание успеха. Подобные цепные реакции доказывают готовность инструмента к сложному сценарному анализу.

В будущем для развития системы потребуется усложнение топологии сети. Предполагается расширить набор психологических концептов, включая факторы, которые будут отрицательно влиять на другие характеристики. Также требуется более тщательно исследовать методы выбора коэффициентов базовых факторов при расчете скрытых – не задавать их строго математическими комбинациями базовых показателей, а рассмотреть представление динамическим образом и ввести их в пространство нечетких концептов. Это позволит повысить обоснованность структуры когнитивной карты и точность моделирования индивидуального состояния обучающегося.

Цель работы – разработка и программная реализация модели взаимного влияния факторов учебного поведения уровня знания студента на основе транзакционных логов с использованием нечетких когнитивных карт – была успешно выполнена.

Список литературы

1. К. Шелдон Введение в теорию самодетерминации и новые подходы к мотивации роста! // Сибирский психологический журнал 2016. – 2016. – С. 7-17.

2. Теория ожидаемой ценности // МедЭндМентор. – URL: https://mededmentor.org/theory-database/theory-index/expectancy-value-theory/ (дата обращения: 29.08.2026).

3. Милявская Наталья Борисовна, Филиппова Виолетта Витальевна Модель ARCS как средство развития учебной мотивации в системе дистанционного обучения // Калининградский вестник образования. – 2022.

4. EdNet // GitHub URL: https://github.com/riiid/ednet (дата обращения: 25.08.2026).

5. Qimin Zhou, Yingcang Ma, Zhiwei Xing, Xiaofei Yang Pearson correlation coefficient-guided large-scale fuzzy cognitive maps learning algorithm // 2025.

6. Christopher R Brydges Effect Size Guidelines, Sample Size Calculations, and Statistical Power in Gerontology // 2019.

УДК 004.8:37.016:811.512.145

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИИ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ УРОКА РОДНОГО ЯЗЫКА: ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГРАНИЦ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ «НА РОДНОМ»

Гильмуллин Р.А., к.ф.-м.н., директор Института прикладной семиотики Академии наук Республики Татарстан, г. Казань;
ORCID: 0000-0002-8520-8921;
E-mail: rinatgilmullin@gmail.com;
Якубова Д.Д., к.ф.н., доцент Казанского федерального университета, руководитель Центра образования и образовательных технологий Татарского республиканского молодежного общественного фонда «Сэлэт», г. Казань;
E-mail: dilyara.yakubova@selet.biz;
ORCID: 0000-0003-4918-6574;
Селимов Т.С., исследователь Лаборатории инноваций в образовании Института образования Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), автор проекта «На родном», г. Москва;
ORCID: 0000-0003-3304-642X;
Гилязова Р.Р., учитель татарского языка и литературы школы Сэлэт «Алмагач» на базе Муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения «Гимназия №107 «Открытие» Ново-Савиновского района г. Казани», г. Казань;
Якубова Д.Д., к.ф.н., доцент Казанского федерального университета, руководитель Центра образования и образовательных технологий Татарского республиканского молодежного общественного фонда «Сэлэт», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-4918-6574;
E-mail: dilyara.yakubova@selet.biz

GENERATIVE AI IN NATIVE-LANGUAGE LESSON PREPARATION: A FUNCTIONAL MODEL OF AUTOMATION BOUNDARIES FOR THE «NA RODNOM» PLATFORM

Gilmullin R.A., PhD in Physics and Mathematics, Director of the Institute of Applied Semiotics, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan;
ORCID: 0000-0002-8520-8921;
E-mail: rinatgilmullin@gmail.com;
Yakubova D.Dz., PhD in Philology, Associate Professor at Kazan Federal University, Head of the Center for Education and Educational Technologies of the Tatarstan Republic Youth Social Fund "Selet", Kazan;
ORCID: 0000-0003-4918-6574;
E-mail: dilyara.yakubova@selet.biz;
Selimov T.S., Researcher at the Laboratory for Innovations in Education, Institute of Education, National Research University Higher School of Economics (HSE University), author of the "Na Rodnom" project; Moscow;
ORCID: 0000-0003-3304-642X;
Gilyazova R.R., Tatar Language and Literature Teacher at Selet "Almagach" School, based at Municipal Budgetary General Education Institution "Gymnasium № 107 'Otkrytie' of Kazan's Novo-Savinovsky District", Kazan;
Yakubova D.D., Candidate of Philological Sciences, Associate Professor at Kazan Federal University, Head of the Center for Education and Educational Technologies at the "Selet" Tatar Republican Youth Public Foundation, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-4918-6574;
E-mail: dilyara.yakubova@selet.biz

Аннотация

Статья посвящена проектированию человекоцентричного применения генеративного искусственного интеллекта при подготовке урока родного языка на основе аутентичных аудио-, видео- и текстовых материалов. Цель исследования состоит в разработке функциональной модели, позволяющей обоснованно распределять отдельные операции между технической автоматизацией, совместной работой учителя и искусственного интеллекта и профессиональной прерогативой педагога. Материал исследования составили десять научных и нормативно-методических источников по планированию урока, преподаванию татарского языка, генеративному искусственному интеллекту в языковом образовании и обработке малоресурсных языков. Использованы структурированный аналитический обзор, функциональная декомпозиция процесса и рамочный синтез. Выделены три взаимосвязанных слоя подготовки: педагогический замысел, производство учебных артефактов и их методическая, языковая и культурная валидация. Предложены шесть критериев определения границ автоматизации: формализуемость, проверяемость, контекстная зависимость, цена ошибки, лингвокультурная чувствительность и профессиональная ответственность. На их основе построена матрица классификации операций по трем зонам. К технической автоматизации с обязательной проверкой отнесены конвертация, сегментация, временная разметка и черновая транскрипция; к совместному проектированию – перевод, языковой отбор, пояснения и генерация заданий; к профессиональной прерогативе учителя – постановка целей, адаптация к классу, культурная экспертиза и публикация. Модель применена к проектной спецификации платформы «На родном» (https://народном.рф), которая разрабатывается командой под руководством Селимов Тимура, и преобразована в требования к интерфейсу, статусам материалов и повторной проверке зависимых результатов. Экспериментальная оценка качества и трудоемкости не проводилась, поэтому выводы интерпретируются как проверяемые проектные положения. Практическая значимость работы состоит в создании воспроизводимой схемы распределения ответственности при разработке образовательных сервисов для татарского и других малоресурсных языков. В отличие от автономного генератора, предлагаемая схема рассматривает искусственный интеллект как средство производства версионируемых черновиков, статус которых изменяется только после проверки человеком. Отдельное внимание уделено предотвращению каскада ошибок между последовательными операциями.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект, родной язык, татарский язык, методическая подготовка, малоресурсный язык, human-in-the-loop, образовательная платформа, границы автоматизации

Abstract

The article addresses the human-centred use of generative artificial intelligence in preparing native-language lessons from authentic audio, video, and textual materials. The study aims to develop a functional model that provides an explicit basis for allocating individual operations among technical automation, teacher-artificial intelligence collaboration, and the teacher's professional prerogative. The evidence base comprises ten scholarly and policy-related sources on lesson planning, Tatar language teaching, generative artificial intelligence in language education, and technologies for low-resource languages. The methods include a structured analytical review, functional decomposition of the preparation process, and framework synthesis. Three interdependent layers are identified: pedagogical intent, production of learning artefacts, and their methodological, linguistic, and cultural validation. Six criteria are proposed for defining automation boundaries: formalizability, verifiability, contextual dependence, cost of error, linguistic and cultural sensitivity, and professional accountability. These criteria support a matrix that classifies operations into three zones. Media conversion, segmentation, time alignment, and draft transcription belong to technical automation with mandatory verification. Translation, selection of linguistic content, explanations, and task generation require teacher-artificial intelligence co-design. Goal setting, adaptation to a particular class, cultural review, and publication

remain the teacher's professional responsibility. The model is applied to the design specification of the «Na Rodnom» platform prototype and translated into requirements for interface traceability, material status marking, and renewed checking of dependent outputs after source corrections. No experimental assessment of quality, time savings, or learning outcomes is reported; the conclusions are therefore formulated as testable design propositions rather than evidence of system effectiveness. The study's practical contribution is a reproducible responsibility-allocation scheme for educational services supporting Tatar and other low-resource languages.

Keywords: generative artificial intelligence, native language, Tatar language, lesson preparation, low-resource language, human-in-the-loop, educational platform, automation boundaries

1. Введение

Концепция преподавания татарского языка и татарской литературы ориентирует образовательную практику на коммуникативный и деятельностный подходы, дифференциацию, этнокультурное содержание и мультимедийные ресурсы [1]. Современный учебный материал представляет собой методическую систему, в которой согласуются содержание, речевая деятельность, культурный компонент и контроль [2]. Преобразование аутентичного видео, аудио или текста в такую систему включает транскрипцию, перевод, отбор языковых единиц, подготовку пояснений и заданий, а также определение их места в конкретном уроке.

Генеративный искусственный интеллект (Generative Artificial Intelligence, GenAI) ускоряет получение транскриптов, пояснений и вариантов заданий, однако языковая связность результата не означает его методической пригодности. Модель не обладает самостоятельным знанием состава класса, места урока в программе и допустимых последствий ошибки. Для родного языка к этому добавляется культурно-репрезентативная функция материала. Поэтому предметом исследования является не автономная генерация готового урока, а условия делегирования отдельных операций.

Цель работы – разработать функциональную модель распределения операций подготовки урока между искусственным интеллектом и учителем и преобразовать ее в проектные требования к сервисам изучения татарского языка. Исследовательские вопросы: 1) из каких операций складывается работа с аутентичным мультимодальным материалом; 2) по каким критериям определяется допустимая зона автоматизации; 3) какие технические, языковые, культурные, педагогические и этические ограничения должны учитываться при проектировании платформы «На родном» (https://народном.рф).

2. Теоретические основания

2.1. Планирование урока как профессиональная деятельность

Планирование урока нельзя свести к заполнению универсального шаблона. Модель профессионального планирования CODE-PLAN включает преобразование содержания, создание заданий, адаптацию, ясность целей, контекстуализацию и фазирование [3]. Цель определяет материал и деятельность, а сведения об учащихся – сложность и необходимые опоры. Автоматизация создания упражнения поэтому не означает автоматизации решения о его месте в уроке.

2.2. Генеративный искусственный интеллект и участие человека

В исследованиях генеративного искусственного интеллекта для языкового образования преобладают английский как иностранный и высшая школа; родные и малоресурсные языки представлены слабее [4]. Следовательно, техническая возможность получить связный текст не доказывает его пригодности для школьного татарского контекста.

Подход human-in-the-loop понимается в работе не как единственная финальная проверка, а как участие специалиста в контрольных точках: учитель задает параметры до генерации, сверяет промежуточные результаты с источником, редактирует и отдельно утверждает материал. Такая архитектура снижает риск каскада, при котором ошибка транскрипта переходит в перевод, лексическую выборку, объяснение и задания.

В Shiksha Copilot планы на английском и языке каннада проверяются кураторами и адаптируются учителями [5]. TeachPlanAlign связывает план с учебной программой и профилями класса и педагога, делая основания генерации более явными [6]. Эти системы работают преимущественно с планом как целостным продуктом; для мультимодальной подготовки татарского урока требуется классификация отдельных взаимозависимых операций.

2.3. Технологии для малоресурсных языков

Малоресурсность проявляется в дефиците размеченной речи, параллельных корпусов, морфологических инструментов и тестовых наборов. Агглютинативная морфология татарского языка, вариативность устной речи и близость тюркских языков усложняют автоматическую обработку: формально правдоподобная ошибка может не обнаруживаться без языкового специалиста.

Система Revita демонстрирует создание упражнений из аутентичных татарских текстов, но опирается на вручную заданные правила и не покрывает все конструкции [7]. Бенчмарк TUMLU выявляет языковые и культурные искажения в переводных тестах и показывает, что решение задания моделью не подтверждает способность качественно сгенерировать его [8]. Для англо-татарского перевода отдельно отмечены шум данных и турецкая интерференция [9]. Поэтому транскрипция, перевод, отбор материала и генерация упражнений должны оцениваться раздельно.

3. Материалы и методы

Материал исследования составили десять источников, полностью представленных в списке литературы: два русскоязычных нормативно-методических и научных источника, четыре работы по профессиональному планированию и совместной работе педагога с искусственным интеллектом, три исследования технологий для татарского и других тюркских языков и руководство UNESCO по генеративному искусственному интеллекту в образовании. Отбор ограничивался источниками, которые содержат явное описание хотя бы одного из элементов анализа: операции, контекста применения, способа проверки, ограничения или роли человека. Рекламные и неподтвержденные продуктовые заявления не включались.

Применялись структурированный аналитический обзор, функциональная декомпозиция и рамочный синтез. Для каждого источника фиксировались контекст, единица анализа, функция искусственного интеллекта, получаемый результат, способ проверки, ограничения и роль учителя. Затем процесс подготовки был разложен на операции, а повторяющиеся основания делегирования объединены в шесть критериев.

Каждая операция оценивалась по трехуровневой порядковой шкале: Н – низкая, С – средняя, В – высокая выраженность критерия. Для формализуемости и проверяемости высокая оценка поддерживает автоматизацию; для контекстной зависимости, цены ошибки, лингвокультурной чувствительности и профессиональной ответственности высокая оценка усиливает необходимость решения человека. Распределение по зонам выполнялось по правилу критического ограничения: высокая цена ошибки, лингвокультурная чувствительность или профессиональная ответственность исключают автоматическое утверждение независимо от остальных оценок.

Полученная модель сопоставлялась с проектной спецификацией функций платформы «На родном», разработку которого ведёт команда под руководством Селимова Тимура. Экспериментальная оценка точности, времени работы и учебных результатов не проводилась. Поэтому применение модели к платформе рассматривается как разработка проверяемых требований к архитектуре и интерфейсу, а не как подтверждение эффективности уже реализованной системы.

4. Результаты

4.1. Функциональная структура методической подготовки

Выделены три взаимосвязанных слоя: педагогический замысел; производство транскрипта, перевода, языковых единиц, пояснений и заданий; методическая, языковая и культур-

ная валидация. Последняя сопровождает переходы между этапами, поскольку ошибка источника воспроизводится в производных материалах.

4.2. Сопоставление с ближайшими подходами

Сопоставление по единице анализа, языковому контексту и организации контроля представлено в таблице 1.

Таблица 1

Место предлагаемой модели среди ближайших подходов

Подход	Объект и контекст	Участие человека и отличие
CODE-PLAN [3]	Профессиональные требования к планированию урока	Описывает решения учителя, но не границы автоматизации
Revita [7]	Упражнения из аутентичного татарского текста	Учитель контролирует обучение; нет полного мультимодального процесса
Shiksha Copilot [5]	Планы на английском и каннада, связанные с программой	Куратор проверяет, учитель адаптирует; операции отдельно не классифицируются
TeachPlanAlign [6]	План с профилями класса и педагога	Показывает основания генерации; малоресурсный родной язык не рассматривается
Предлагаемая модель	Операции от татарского медиаматериала до методического комплекта	Шесть критериев, три зоны и повторная проверка зависимых результатов

Научная новизна модели состоит в операционализации границ делегирования для взаимозависимых операций подготовки урока татарского языка: от обработки медиаматериала до утверждения методического комплекта.

4.3. Критерии и правило определения зоны автоматизации

Формализуемость характеризует возможность задать устойчивые входы, выходы и правила. Проверяемость означает возможность сопоставить результат с наблюдаемым основанием: транскрипт – с аудио, перевод – с исходной строкой, ответ – с фрагментом источника. Высокие значения этих критериев позволяют автоматизировать получение черновика, но сами по себе не гарантируют его качества.

Контекстная зависимость отражает объем необходимых сведений о классе, программе и ситуации. Цена ошибки определяется последствиями: неточная временная метка обычно остается локальной, а неверное правило или неоднозначный ответ могут закрепить ошибку у учащихся. Лингвокультурная чувствительность охватывает норму, регистр, вариативность, прагматику, межъязыковую интерференцию и представление культуры. Профессиональная ответственность показывает, кто должен обосновать решение и отвечать за его последствия.

Операция относится к технической автоматизации с проверкой, если формализуемость и проверяемость высоки, а четыре ограничивающих критерия низки. Смешанный профиль соответствует совместному проектированию. Высокая цена ошибки, лингвокультурная чувствительность или профессиональная ответственность переводят окончательное решение в профессиональную прерогативу учителя. Матрица применения правила к операциям платформы представлена в таблице 2.

Таблица 2

Матрица определения зон автоматизации

Операция	Ф	П	К	Ц	Л	О	Зона
Конвертация и сегментация	В	В	Н	Н	Н	Н	I
Черновая транскрипция	В	В	Н	С	С	С	I
Построчный перевод	С	В	С	В	В	С	II
Отбор лексики и грамматики	С	С	В	С	В	С	II
Упражнения и мини-тест	С	С	В	В	С	В	II/III
Цели и адаптация к классу	Н	С	В	В	С	В	III
Культурная экспертиза и публикация	Н	С	В	В	В	В	III

Условные обозначения: Ф – формализуемость; П – проверяемость; К – контекстная зависимость; Ц – цена ошибки; Л – лингвокультурная чувствительность; О – профессиональная ответственность; Н – низкая, С – средняя, В – высокая. Зона I – техническая автоматизация с проверкой; зона II – совместное проектирование; зона III – профессиональная прерогатива учителя. Обозначение II/III означает, что искусственный интеллект может сформировать вариант, но окончательная педагогическая функция и утверждение принадлежат учителю.

4.4. Три зоны автоматизации

Первая зона включает техническую автоматизацию с обязательной сверкой: конвертацию медиа, сегментацию, временную разметку, черновую транскрипцию и форматирование. Во второй зоне искусственный интеллект предлагает варианты перевода, лексики, грамматических пояснений, вопросов, ответов и дистракторов, а учитель выбирает, исправляет и согласует их с целью и уровнем. Третья зона охватывает диагностику класса, постановку целей, выбор материала, логику урока, культурную экспертизу, итоговое оценивание и публикацию. Даже первая зона не предполагает автоматического присвоения материалу статуса проверенного.

4.5. Применение модели к проектной спецификации «На родном»

Проектная спецификация платформы предусматривает прием видео, аудио, текста или ссылки и формирование транскрипта с построчным русским переводом, перечня ключевых слов и выражений, грамматической сводки, трех упражнений и мини-теста. Предлагаемая модель не подтверждает качество этих функций, а определяет условия их безопасной реализации и использования.

Выбор источника разделяется на техническую загрузку и педагогическое решение об уместности. Транскрипция формируется как черновик с временными метками и указанием сомнительных участков. Построчный формат перевода автоматизируется, но смысловая, нормативная и прагматическая корректность проверяется специалистом. Ключевые единицы и грамматические конструкции предлагаются как кандидаты, а не как обязательный набор заданного объема. Упражнения и мини-тест получают явные поля цели, основания, правильного ответа и критерия оценивания.

Зависимость операций требует управления версиями. Если учитель исправляет исходный или промежуточный фрагмент, созданные на его основе перевод, пояснение и задания должны автоматически утрачивать статус проверенных до повторного контроля. Такой механизм реализует трассируемость происхождения материала и предотвращает сохранение каскадной ошибки. Это проектное требование к платформе, подлежащее последующей эмпирической проверке.

5. Обсуждение

5.1. Риски и ответственность учителя

Связный текст не равен методически пригодному материалу, а скорость генерации не равна снижению полной трудоемкости. Технические риски включают ошибки распознавания и каскад неточностей; лингвистические – неверный морфологический анализ, кальку и смешение родственных языков; педагогические – расхождение цели и задания, завышенную сложность и неоднозначный ответ.

Культурные риски связаны с деконтекстуализацией реалий, стереотипизацией и игнорированием вариантов речи; правовые и этические – с авторскими правами, персональными данными и непрозрачным оцениванием. Организация Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры (UNESCO) связывает использование генеративного искусственного интеллекта с человеческой субъектностью, защитой данных, педагогической валидацией и культурно-языковым разнообразием [10]. Ответственность учителя основана не на его безошибочности, а на контекстном знании и институциональных полномочиях.

5.2. Требования к интерфейсу и архитектуре контроля

Интерфейс должен связывать перевод, пример и ответ с исходным фрагментом; показывать статус черновика; поддерживать независимое редактирование элементов; отображать цель, основание, ответ и критерий задания; сохранять версии исходника, правок и утверждения; требовать отдельного действия учителя для публикации. Необходимы также минимизация данных и разграничение доступа. Оригинал и результат показываются рядом, а сомнительные места выделяются. Показатель уверенности определяет порядок проверки, но не заменяет ее.

5.3. Проверяемые положения и ограничения

Модель формулирует четыре положения для последующей проверки. П1: чем ниже независимая проверяемость операции, тем позднее ее результат может получить статус готового материала. П2: высокая лингвокультурная чувствительность исключает публикацию без решения человека. П3: исправление исходного или промежуточного материала требует повторной проверки производных элементов. П4: зона автоматизации зависит не от названия функции, а от сочетания функции, языка, компетенций пользователя и ситуации применения.

Для эмпирической проверки необходимы показатели точности транскрипта, корректности перевода, валидности упражнений, числа критических ошибок и полной трудоемкости. Ограничения работы – выборка из десяти источников, концептуальный характер модели и отсутствие оценки учебных результатов. Модель должна уточняться после стабилизации платформы и экспертной апробации.

6. Заключение

Разработана функциональная модель распределения операций подготовки урока родного языка между искусственным интеллектом и учителем. Ее отличием является совместное использование шести критериев, правила критического ограничения и механизма повторной проверки зависимых результатов. Обработка и компоновка источника допускают техническую автоматизацию с контролем; перевод, языковой отбор, пояснения и задания требуют совместного редактирования; цели, адаптация к классу, культурная экспертиза и публикация остаются за педагогом. Для татарского как малоресурсного языка платформу «На родном» следует проектировать как среду создания проверяемого, редактируемого и версионируемого методического черновика. Эффективность такого распределения должна быть подтверждена последующей экспертной и экспериментальной оценкой.

Список литературы

1. Концепция преподавания татарского языка и татарской литературы: утверждена 4 мая 2017 г., протокол № 2. URL: https://mon.tatarstan.ru/tatarconception.htm (дата обращения: 24.08.2026).

2. Фатхуллова К. С., Денмухаметова Э. Н., Галиуллина Г. Р., Сагдиева Р. К. Современный учебник родного (татарского) языка как методическая система // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 6. DOI: 10.17513/spno.33067.

3. König J., Krepf M., Bremerich-Vos A., Buchholtz C. Meeting Cognitive Demands of Lesson Planning: Introducing the CODE-PLAN Model // The Teacher Educator. 2021. Vol. 56, no. 4. P. 466-487. DOI: 10.1080/08878730.2021.1938324.

4. Lee S., Choe H., Zou D., Jeon J. Generative AI (GenAI) in the Language Classroom: A Systematic Review // Interactive Learning Environments. 2026. Vol. 34, no. 1. P. 335-359. DOI: 10.1080/10494820.2025.2498537.

5. Dennison D. V., Ahtisham B., Chourasia K. et al. Shiksha Copilot: Teacher-AI Collaboration for Curating and Customizing Lesson Plans in Low-Resource Schools // Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction. 2026. Vol. 10, no. 2. P. 1-47. DOI: 10.1145/3788074.

6. Fu S., Liu F., Wu H., Zhou J., Pan Z. TeachPlanAlign: Dual-Profile Personalized and Curriculum-Grounded Lesson Plan Generation Schema via Retrieval-Augmented Fine-Tuning // Mathematics. 2026. Vol. 14, no. 9. Article 1492. DOI: 10.3390/math14091492.

7. Zakirova A., Hou J., Katinskaia A. et al. Intelligent Tutor to Support Teaching and Learning of Tatar // Proceedings of SIGTURK 2024. Association for Computational Linguistics, 2024. P. 92-101. DOI: 10.18653/v1/2024.sigturk-1.9.

8. Isbarov J., Akhundjanova A., Hajili M. et al. TUMLU: A Unified and Native Language Understanding Benchmark for Turkic Languages // Proceedings of ACL 2025. Vol. 1. Association for Computational Linguistics, 2025. P. 22816-22838. DOI: 10.18653/v1/2025.acl-long.1112.

9. Khamis A. K. Navigating Data Scarcity in Low-Resource English-Tatar Translation Using LLM Fine-Tuning // Proceedings of LoResMT 2026. Association for Computational Linguistics, 2026. P. 198-202. DOI: 10.18653/v1/2026.loresmt-1.16.

10. Miao F., Holmes W. Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris: UNESCO, 2023. DOI: 10.54675/EWZM9535.

УДК 004.9:378

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ИТ-СТУДЕНТОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИИ

Голицына И.Н., к.ф.-м.н., доцент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1955-6095

TRANSFORMATION OF THE DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT FOR IT STUDENTS UNDER THE INFLUENCE OF AI

Golitsyna I.N., PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1955-6095

Аннотация

Рассматриваются вопросы трансформации цифровой образовательной среды (ЦОС) студентов ИТ-специальностей в условиях стремительного распространения технологий искусственного интеллекта (ИИ). Показано на примере студентов направления подготовки 09.03.04 Программная инженерия Казанского федерального университета, как за последние

два года под влиянием ИИ происходит трансформация персональной ЦОС студентов, опережающая развитие ЦОС учебного заведения.

Ключевые слова: ИТ-специалисты, цифровая образовательная среда, искусственный интеллект, информационные образовательные ресурсы, Образование 5.0

Abstract

This article examines the development of the digital educational environment (DEE) for students majoring in IT amid the rapid spread of artificial intelligence (AI). Using the example of students majoring in Software Engineering (09.03.04) at Kazan Federal University, is demonstrated how, over the past two years, students' personal DEEs have been transformed by AI, outpacing the development of the institution's DEE.

Keywords: IT specialists, digital educational environment, artificial intelligence, information educational resources, Education 5.0

Введение

Современные тенденции быстрого внедрения ИИ в образование вызывают озабоченность на всех уровнях – от управления образованием до использования ИИ в преподавании отдельных дисциплин.

В материалах Юнеско [1] подчеркивается, что хотя ИИ имеет потенциал по решению различных проблем в современном образовании и внедрения инноваций в методы преподавания и обучения, стремительное технологическое развитие влечет за собой многочисленные риски и проблемы, в том числе в политических и правовых аспектах. На глобальном уровне происходит формирование общего понимания возможностей и проблем, которые открывает ИИ для образования, а также их последствий для основных компетенций, необходимых в эпоху ИИ.

В исследовании [2] на основе анализа ответов на опросы 3839 студентов из 16 стран для изучения использования ИИ, готовности к его применению и институциональной поддержки, делается вывод о том, что 86% студентов используют ИИ. При этом результаты показывают явный разрыв между быстрым освоением студентами инструментов ИИ и ограниченной готовностью учебных заведений к их поддержке. Авторы констатируют необходимость повышения уровня всеобщей грамотности в области ИИ, обновления методов оценки и более четких институциональных рекомендаций по ответственному использованию технологий ИИ в высшем образовании.

Нами в течение ряда лет проводятся опросы студентов ИТ-специальностей на вопросы, связанные с использованием цифровых ресурсов и технологий электронного обучения в учебном процессе [3]. На рис.1 представлены результаты ответов студентов 4 курса направления подготовки 09.03.04 Программная инженерия (бакалавриат) Казанского федерального университета в 2025 году (апрель, 57 респондентов) и в 2026 году (апрель, 55 респондентов) на вопрос «Используете ли Вы ИИ в учебных целях?».

Диаграммы отображают процентное отношение количества положительных ответов студентов, к общему количеству респондентов в текущем году. Из представленных ответов видно, что последние два года около 95% студентов использует технологии ИИ в разных видах учебной деятельности. По итогам аналогичного опроса в 2023 году (апрель, 75 респондентов), только 20% студентов того же направления подготовки заявили об использовании ИИ в учебном процессе. Среди часто используемых нейросетей студенты называли ChatGPT, Qwen, DeepSeek, GigaGhat, NotebookLM и др.

В данной статье на основе вышеупомянутых опросов рассматривается, как в течение последних трех лет изменяется цифровая образовательная среда (ЦОС) ИТ-студентов.

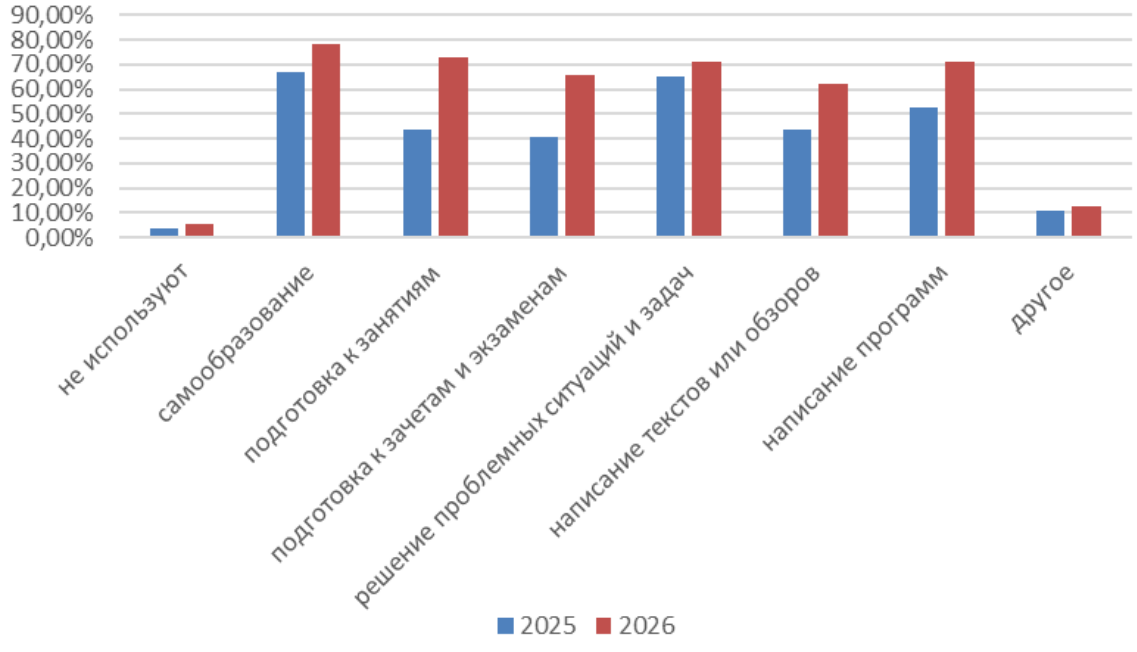


Рис. 1. Использование студентами ИИ в учебных целях

Цифровая образовательная среда

Цифровая образовательная среда (ЦОС) включает в себя технологические средства (ТС), информационные образовательные ресурсы (ИОР) и педагогические технологии [4]. Состав ЦОС приведен таблице 1.

Таблица 1

Состав цифровой образовательной среды

Компоненты ЦОС	ЦОС учебного заведения	Персональная ЦОС
Пользователи	Студенты, преподаватели	Студенты
Технологические средства (ТС)	ТС и доступ в интернет учебного заведения	Персональные ТС, личный доступ в интернет
Информационные образовательные ресурсы	Библиотека, цифровые образовательные ресурсы (ЦОР) учебного заведения, учебные пособия	Открытые образовательные ресурсы, справочные и профессиональные ресурсы, ИИ-ассистенты, конспекты
Педагогические технологии	Дистанционное обучение. Гибкое и смешанное обучение – использование дистанционных технологий в традиционном учебном процессе	Мобильное обучение – обучение с помощью мобильных устройств. Образовательная самоорганизация в социальных сетях. Самообразование с помощью технологий. ИИ в образовании.

ЦОС складывается из ЦОС учебных заведений, которая используется в образовательном процессе, и персональной ЦОС каждого студента. Персональные ЦОС студентов

ИТ-специальностей динамично развиваются, т.к. в учебном процессе студенты активно используют технологические новинки, как правило, опережая при этом студентов других специальностей и преподавателей.

Рассмотрим трансформацию таких компонентов ЦОС, как информационные образовательные ресурсы (ИОР) и педагогические технологии в течение последних трех лет.

Информационные образовательные ресурсы

В учебном процессе студенты используют ИОР учебного заведения, предоставленные библиотекой или разработанные преподавателями, а также открытые образовательные, справочные и профессиональные ресурсы за пределами университетской ЦОС.

На рис. 2, 3, 4 можно проследить тренды в использовании студентами ИОР в различных видах учебной деятельности в 2024-2026 годах.

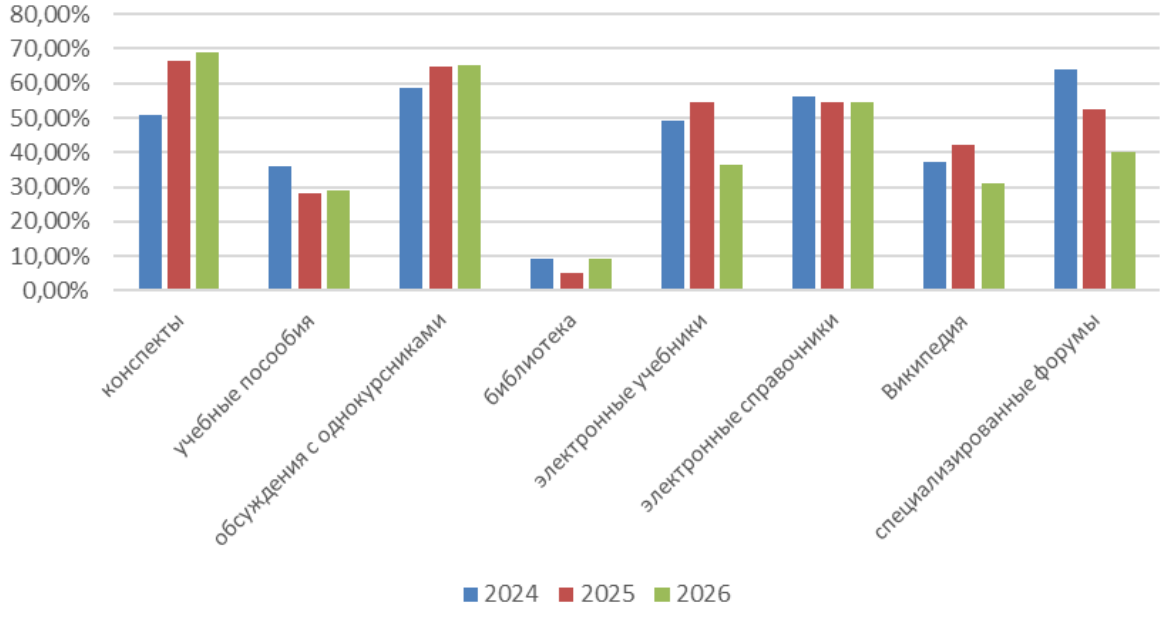


Рис. 2. Ресурсы в подготовке ИТ-студентов к занятиям

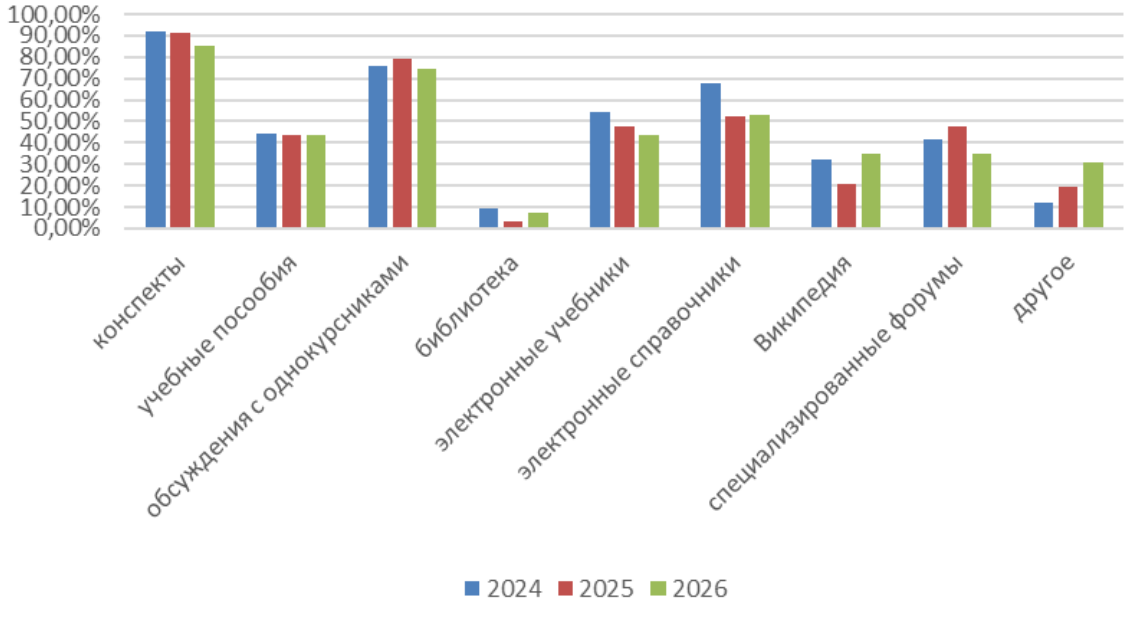


Рис. 3. Ресурсы в подготовке ИТ-студентов к зачетам и экзаменам

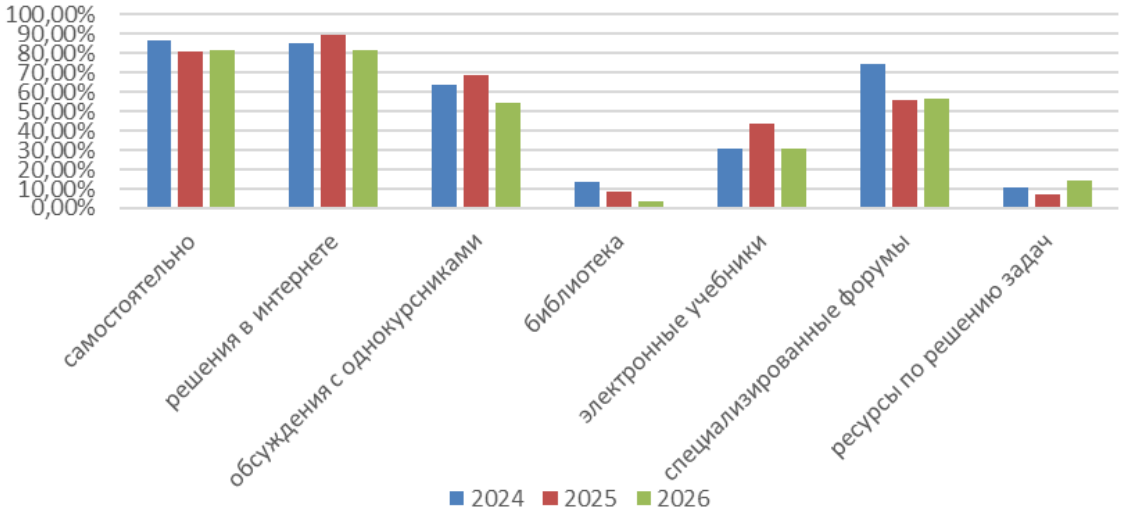


Рис. 4. Ресурсы, используемые для решения проблемных ситуаций и задач

Тренды в использовании студентами ресурсов в подготовке к занятиям, зачетам и экзаменам показывают, что популярность традиционных источников учебной информации остается на прежнем уровне, студенты стабильно используют ресурсы ЦОС учебного заведения. Одновременно популярность использования электронных источников информации за пределами вуза постепенно снижается, в частности за последние годы снизилась популярность открытых ресурсов, в том числе справочных и профессиональных, а также профессиональных форумов на фоне роста популярности технологий ИИ (рис. 1).

Педагогические технологии

Традиционно в учебном процессе студентов ИТ-специальностей активно используются технологии электронного обучения (ЭО). До настоящего времени технологии ЭО развивались в рамках концепции Образования 4.0 (Education 4.0), ориентированного на подготовку специалистов для Индустрии 4.0 (Industry 4.0). Благодаря быстрому внедрению генеративного ИИ формируется новая концепция электронного обучения Образование 5.0 (Education 5.0) [5]. Образование 5.0 предполагает персонализированные, адаптивные подходы к образованию и возможности обучения на протяжении всей жизни, в связи с этим формирование персональной ЦОС студентов способствует развитию подходов к образованию, заявленных в рамках этой концепции.

В табл.1 перечислены основные технологии электронного обучения, которые входят в состав ЦОС. В рамках персональной ЦОС студенты самостоятельно используют в учебном процессе мобильное обучение (рис. 5), образовательную самоорганизацию в социальных сетях (рис. 6), самообразование с помощью технологий (рис. 7).

Из представленных диаграмм можно заключить о снижении популярности практически всех источников учебной информации в рамках использования мобильного обучения, происходит снижение образовательных коммуникаций между студентами в социальных сетях, что можно связать с повышением интереса к ИИ, который позволяет ответить практически на все учебные вопросы студентов.

Традиционно большая часть студентов занимаются самообразованием (рис. 7). Для самообразования студенты в течение последних лет используют видеокурсы на YouTube, образовательные платформы Stepik, Coursera, Udemy, Академия Яндекса, Ulearn, систему StackOverFlow, сайт по программированию METANIT.COM. Помимо этого в 2026 году они посещали образовательную платформу Skillbox, платформы разработки программного обеспечения GitHub и GitLab, Unity, Обучение 1С, различные курсы по дизайну UX/UI (User Experience/ User Interface), SRE (Site Reliability Engineering), сеть веб-сайтов Stack Exchange, официальные

ресурсы производителей ПО с технической документацией, образовательные Телеграм каналы, а также различные курсы по английскому языку. Наиболее популярным профессиональным форумом у студентов является Хабр.

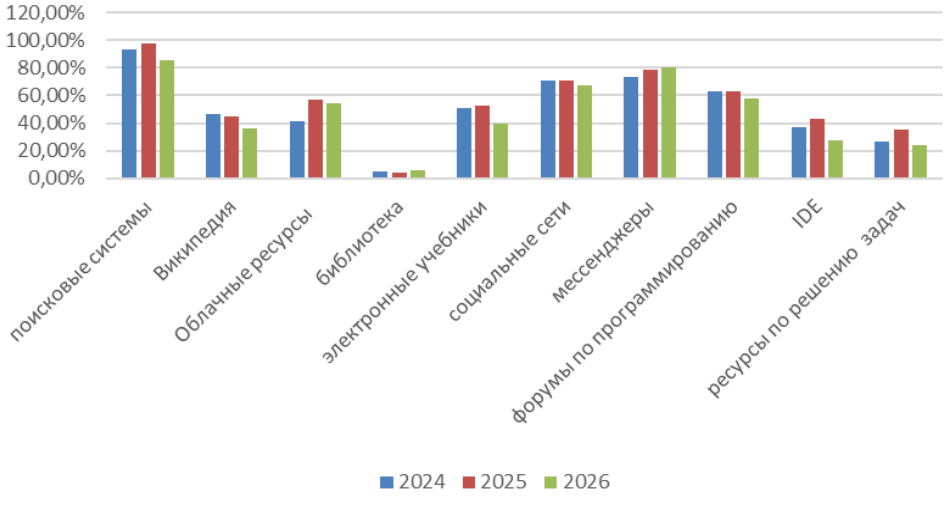


Рис. 5. Мобильное обучение в учебном процессе ИТ-студентов

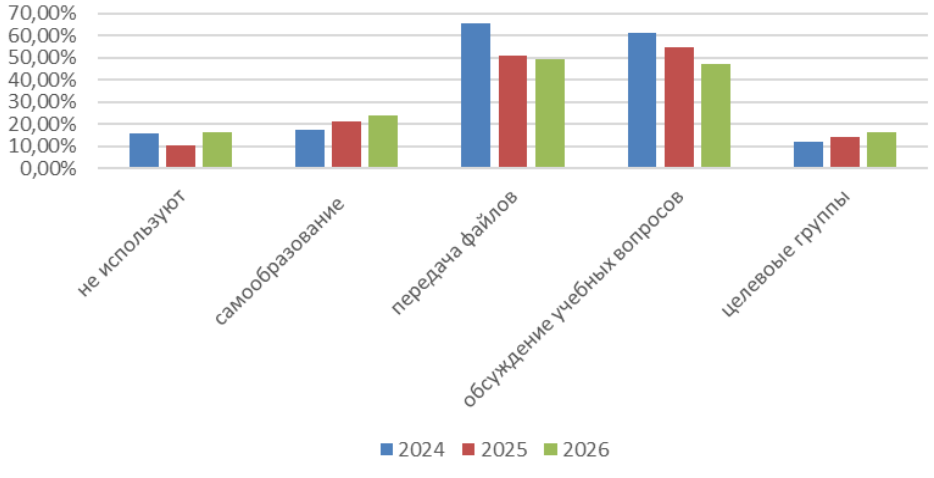


Рис. 6. Социальные сети в учебном процессе ИТ-студентов

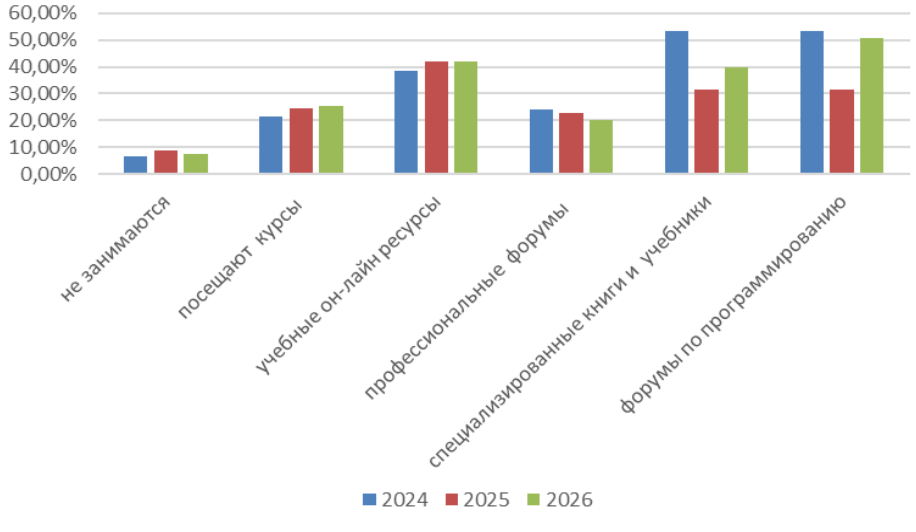


Рис. 7. Самообразование ИТ-студентов

Одновременно (рис. 1) в последние годы все большая часть студентов использует для самообразования технологии ИИ (2025 год – более 65%, 2026 год – около 80%).

Таким образом независимо от учебного заведения за последние два года студенты освоили новую технология электронного обучения «ИИ в образовании» [6], которую активно используют в разных видах учебной деятельности.

Обобщая наши исследования за разные годы [3], можно сделать вывод, что студенты традиционно остаются активными пользователями технологий электронного обучения, часто опережая преподавателей. В свое время это было одним из факторов быстрой перестройки учебного процесса в условиях всеобщего карантина. В современных условиях всеобщее использование студентами технологий ИИ требует перестройки всего образовательного процесса, что обсуждается как на международном уровне [2], так и на уровне педагогического сообщества в нашей стране [8].

Заключение

Тренды в развитии ЦОС студентов ИТ – специальностей, основанные на результатах опроса студентов за последние три года, показывают:

1. Студенты ИТ-специальностей, как и в предыдущие годы [3], в рамках ЦОС образовательной организации активно используют учебные ресурсы, рекомендованные преподавателями, но слабо используют ресурсы библиотеки.

2. Несколько снижаются коммуникации между студентами по учебным вопросам, в том числе и в социальных сетях.

3. Студенты меньше обращаются к ранее популярным цифровым образовательным и профессиональным ресурсам.

4. Студенты освоили и применяют практически во всех видах учебной деятельности технологию ЭО «ИИ в образовании», что порождает изменения во всех других технологиях ЭО.

Рассмотрев тренды в развитии ЦОС студентов ИТ- специальностей, можно заключить, что персональная ЦОС студентов трансформируется в соответствии с современными тенденциями внедрения технологий ИИ во все сферы деятельности, опережая развитие более консервативной ЦОС учебного заведения. Такая ситуация создает вызовы для педагогического сообщества и образовательных структур, требуя незамедлительной адаптации к стремительному внедрению ИИ в образование для достижения двух практически взаимоисключающих целей:

– с одной стороны, необходимость организации качественного образовательного процесса, исключающего негативное влияние ИИ на обучение, когда нейросети позволяют решать учебные задания без усилий со стороны обучающихся;

– с другой стороны, необходимость подготовки конкурентоспособных специалистов, способных использовать технологии ИИ во всех сферах трудовой деятельности.

Список литературы

1. Artificial intelligence in education // UNESCO [электронный ресурс]. – URL: https://www.unesco.org/en/digital-education/artificial-intelligence (дата обращения: 15.08.2026).

2. Metzgar M. Student Use of Generative AI in Higher Education: Patterns, Gaps, and Institutional Readiness // Acta Educationis Generalis. – 2026. – Vol. 16, № 1. – P. 41–52. – DOI 10.2478/atd-2026-0004.

3. Голицына И.Н. Тренды в развитии цифровой образовательной среды ИТ-специалистов // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2025: сборник материалов / Сост.: Р.Ш. Ахмадиева, Р.Н. Минниханов. Под общей ред. член-корр. Академии наук Республики Татарстан, д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова. – Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2025. – Т. 1. – С. 1433-1439. – URL: https://kazandigitalweek.com/upload/doc/results/2025/sbornik_2025_1.pdf (дата обращения: 15.08.2026).

4. Голицына И.Н. Трансформация персональной цифровой образовательной среды студентов ИТ-специальностей// Инновационные, информационные и коммуникационные тех-

нологии: сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции. / под. ред. С.У. Увайсова – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2024. – С. 319–324. – URL: http://info.diag.ru/ (дата обращения: 15.08.2026).

5. Li K.C., Deng B. Framing AI in Education 5.0: A Strategic Framework for Human-Centered Learning Ecosystems // Technology in Education. Smart and Innovative Learning. ICTE 2025. Communications in Computer and Information Science/ ed. Cheung, S.K.S., Liu, X., Xu, G., Kwok, LF. – vol. 2752. – Springer, Singapore. 2026. – URL: https://doi.org/10.1007/978-981-95-4499-8_1 (дата обращения: 15.08.2026).

6. Ouyang F., Jiao P. Artificial intelligence in education: The three paradigms/ // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2021. – № 2. – 6 p. – URL: https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.caeai.2021.100020 (дата обращения: 15.08.2025).

7. Prayuda M. S., Ginting F. Y. A., & Tamba L. Tracing two decades of artificial intelligence in education: A bibliometric analysis of trends, themes, and Future Directions (2000–2025) // European Journal of Educational Research. – 2026. – 15 (1). – P. 285– 304. –DOI:10.12973/eu-jer.15.1.285.

8. Ивлиева О. В., Касумова Б. С. Цифровая трансформация высшего образования: вызовы для преподавателей и студентов // Журнал прикладных исследований. – 2026. – Специальный выпуск № 1. – С. 302–307. – URL: https://zhpi.ru/ru/nauka/article/114285/view?ysclid=mtbp7duejk376370368 (дата обращения: 15.08.2025)

УДК 378.147:004

ПОДГОТОВКА АРХИТЕКТОРОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ: МОДЕЛЬ И ОПЫТ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Гостев В.М., старший преподаватель Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1408-1011;
E-mail: gvm@kpfu.ru

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS ARCHITECTS EDUCATION: A MODEL AND EXPERIENCE IN DEVELOPING A DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Gostev V.M., Senior Lecturer, Institute of Computational Mathematics and Information Technology, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-1408-1011;
E-mail: gvm@kpfu.ru

Аннотация

Развитие технологий искусственного интеллекта и цифровая трансформация различных сфер экономики предъявляют новые требования к специалистам, способным создавать и развивать интеллектуальные информационные системы (ИИС). Новый профиль компетенций включает компетенции системного анализа, архитектурного проектирования информационных систем и применения интеллектуальных технологий. В работе рассматривается модель подготовки архитекторов интеллектуальных информационных систем, обеспечивающая интеграцию образовательных ресурсов, методов проектного обучения и инструментов практического проектирования. Реализация модели осуществляется на основе электронного научно-образовательного комплекса «Архитектура ИИС», включающего учебно-методическое

обеспечение и средства поддержки учебно-исследовательской и проектной деятельности. Особенностью предлагаемого подхода является объединение процессов обучения, исследования и практического проектирования, что позволяет формировать не только технологические навыки, но и компетенции системного анализа и архитектурного мышления. Представлен опыт формирования и развития электронного научно-образовательного комплекса «Архитектура ИИС» на основе ранее созданных образовательных ресурсов и инструментов проектирования сложных информационных систем. Полученный опыт показывает возможность использования предложенного подхода для подготовки архитекторов интеллектуальных информационных систем и его применения в системе подготовки кадров цифровой экономики.

Ключевые слова: интеллектуальные информационные системы; архитектурное проектирование интеллектуальных информационных систем; цифровая образовательная среда; электронный научно-образовательный комплекс; проектное обучение; искусственный интеллект; подготовка архитекторов информационных систем; архитектура информационных систем

Abstract

The development of artificial intelligence technologies and digital transformation in various areas of the economy impose new requirements on specialists capable of creating and developing intelligent information systems. A new competency profile includes competencies in systems analysis, information systems architecture design, and the application of intelligent technologies. The paper considers a training model for architects of intelligent information systems that ensures the integration of educational resources, project-based learning methods, and practical design tools. The model is implemented on the basis of the Electronic Scientific-Educational Complex "Intelligent Information Systems Architecture", which includes teaching and methodological materials as well as tools supporting educational, research, and project activities. A distinctive feature of the proposed approach is the integration of learning, research, and practical design processes, enabling the development of not only technological skills but also competencies in systems analysis and architectural thinking. The paper presents experience in the formation and development of the Electronic Scientific-Educational Complex "Intelligent Information Systems Architecture" based on previously developed educational resources and tools for designing complex information systems. The obtained experience demonstrates the applicability of the proposed approach for training intelligent information systems architects and its potential use within the system of training specialists for the digital economy.

Keywords: Intelligent Information Systems; Intelligent Information Systems Architecture Design; Digital Educational Environment; Electronic Scientific-Educational Complex; Project-Based Learning; Artificial Intelligence; Information Systems Architect Training; Information Systems Architecture

1. Введение

Стремительное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) создает запрос не только на специалистов, способных эффективно применять существующие ИИ-инструменты, но и на специалистов нового профиля – архитекторов интеллектуальных информационных систем (ИИС), способных проектировать и развивать такие системы.

Подготовка кадров для цифровой трансформации и применения технологий ИИ становится одним из актуальных направлений развития цифровой экономики [1]. В Республике Татарстан развитие технологий ИИ рассматривается как одно из приоритетных направлений цифровой трансформации, что усиливает потребность в специалистах соответствующего профиля: «Наша система образования уже сегодня должна готовить не просто "кодеров", а архитекторов ИИ-систем» [2].

Архитектор ИИС как специалист нового профиля должен учитывать особенности применения технологий искусственного интеллекта, принимать обоснованные решения при

проектировании, создании, сопровождении и развитии ИИС. Подготовка таких специалистов является комплексной задачей, поскольку требует объединения знаний и практических навыков из различных областей: архитектуры информационных систем, программной инженерии, анализа данных, моделирования и искусственного интеллекта.

В статье представлены образовательная модель подготовки архитекторов ИИС и содержание образовательной программы «Архитектура ИИС». Приведено описание электронного научно-образовательного комплекса (ЭНОК) «Архитектура ИИС» как информационно-технологического ядра цифровой образовательной среды, объединяющей образовательную программу, учебно-методические материалы, практические задания и инструментальные средства проектирования интеллектуальных информационных систем.

2. Проблема подготовки архитекторов интеллектуальных информационных систем

Эффективное проектирование и развитие интеллектуальных информационных систем (ИИС) во многом зависят от наличия специалистов с новым профилем компетенций, объединяющим знания и практические навыки в области архитектуры информационных систем, программной инженерии, анализа данных, моделирования и искусственного интеллекта.

В отличие от специалистов, ориентированных на решение отдельных задач разработки программного обеспечения или применения методов искусственного интеллекта, архитектор ИИС должен обеспечивать согласование различных составляющих интеллектуального решения, связанных с организацией данных, программными компонентами и интеграцией интеллектуальных функций в состав системы.

Специфика деятельности архитектора ИИС определяется не только необходимостью владения отдельными технологиями искусственного интеллекта, но и способностью оценивать возможности, ограничения и риски их применения при формировании архитектурных решений. Важной задачей является определение роли интеллектуальных функций в составе системы: выбор областей их применения, оценка целесообразности использования различных методов, организация взаимодействия компонентов системы, реализующих интеллектуальные функции, с данными, программными модулями и пользователями. Применение интеллектуальных технологий должно рассматриваться не как локальное расширение функциональности системы, а как один из ключевых факторов формирования её архитектуры, поскольку влияет на организацию данных, взаимодействие компонентов и способы поддержки принятия решений. При этом архитектурное решение должно учитывать не только возможности применяемых интеллектуальных технологий, но и требования надежности, управляемости, объяснимости и дальнейшего развития системы [3, 4].

Таким образом, деятельность архитектора ИИС связана не только с определением структуры системы, но и с формированием и оценкой вариантов архитектурных решений, учитывающих функциональные и нефункциональные требования, особенности данных, возможности применяемых интеллектуальных технологий и ограничения, связанные с практическим применением таких решений.

Для решения таких задач архитектор ИИС должен обладать комплексом компетенций, сформированным на пересечении нескольких профессиональных направлений. В своей профессиональной деятельности он использует знания и практические навыки в области системного анализа, архитектурного проектирования, программной инженерии, моделирования, организации данных и применения технологий искусственного интеллекта.

Сложность подготовки таких специалистов связана с тем, что необходимые компетенции формируются на пересечении нескольких профессиональных областей. Традиционные образовательные программы в области информационных систем, как правило, ориентированы на подготовку разработчиков программного обеспечения, системных аналитиков или специалистов по отдельным направлениям обработки данных. Программы подготовки специалистов в области искусственного интеллекта преимущественно ориентированы на методы машинного обучения, анализ данных и разработку моделей. Однако каждое из этих направ-

лений формирует лишь часть компетенций, необходимых архитектору ИИС. Для решения архитектурных задач требуется их интеграция в рамках единой модели профессиональных компетенций.

Таким образом, возникает необходимость формирования образовательной модели подготовки архитекторов ИИС, обеспечивающей не только освоение отдельных технологий и методов, но и развитие способности анализировать требования, формировать и оценивать архитектурные решения, учитывать особенности жизненного цикла интеллектуальных информационных систем. Одним из возможных решений данной задачи является формирование комплексной модели подготовки, объединяющей образовательную программу, учебно-методическое обеспечение, практические задания и инструментальные средства поддержки проектной деятельности.

Предлагаемая модель подготовки архитекторов интеллектуальных информационных систем представлена на рис. 1.



Рис. 1. Модель подготовки архитекторов интеллектуальных информационных систем

3. Концепция подготовки архитекторов ИИС на основе ЭНОК «Архитектура ИИС»

Современные интеллектуальные информационные системы (ИИС) являются сложными объектами, объединяющими программные, информационные и интеллектуальные компоненты. Их проектирование требует от специалистов не только знания отдельных технологий искусственного интеллекта (ИИ), но и понимания принципов построения архитектуры системы, способов интеграции компонентов и оценки различных вариантов реализации.

Подготовка архитекторов ИИС должна обеспечивать формирование комплексного представления о процессах анализа требований, разработки архитектурных решений, моделирования, оценки и развития сложных информационных систем.

Практическая реализация данной концепции представлена электронным научно-образовательным комплексом (ЭНОК) «Архитектура ИИС», объединяющим образовательные материалы, методическое обеспечение и средства поддержки практической работы с объектами архитектурного проектирования.

Концепция ЭНОК [5, 6] основана на интеграции трех взаимосвязанных функциональных блоков:

– образовательного;
– проектного;
– инструментального.

Образовательный блок включает учебные материалы, программы подготовки, лабораторные и практические задания.

Проектный блок обеспечивает выполнение задач анализа, разработки и оценки архитектурных решений.

Инструментальный блок предоставляет средства моделирования, экспериментального исследования и поддержки проектной деятельности.

Такой подход позволяет организовать подготовку специалистов не только через изучение теоретических положений архитектуры информационных систем и технологий искусственного интеллекта, но и – в контексте проектно-ориентированного обучения [7] – через практическую работу с объектами архитектурного проектирования, включая создание новых систем (Greenfield) и развитие существующих систем (Brownfield).

4. Образовательная программа «Архитектура ИИС»

Программа «Архитектура ИИС» ориентирована на специалистов с различным уровнем предварительной подготовки, поэтому обеспечивает взаимосвязь фундаментальных положений архитектуры информационных систем, современных технологий искусственного интеллекта и практики разработки архитектурных решений.

Важной особенностью программы является практическая направленность подготовки, обеспечивающая связь изучаемых методов и технологий с задачами архитектурного проектирования.

Современные технологии ИИ рассматриваются в контексте архитектуры ИИС: их применение требует определения роли интеллектуальных функций в структуре системы, учета особенностей используемых моделей и данных, а также оценки ограничений, связанных с качеством данных, достоверностью результатов и надежностью функционирования системы.

Программа включает следующие взаимосвязанные блоки:

1) Архитектура информационных систем и системный анализ – формирование представлений о принципах построения сложных информационных систем, анализе требований, разработке и описании архитектурных решений, оценке альтернативных вариантов, а также изучение современных подходов к архитектуре информационных систем (Enterprise Architecture).

2) Программная инженерия и проектирование программных систем – изучение методов разработки, интеграции и сопровождения компонентов сложных информационных систем, современных архитектурных стилей и подходов к проектированию программных систем (Software Architecture).

3) Данные, знания и интеллектуальные технологии – изучение принципов организации данных и архитектуры данных (Data Architecture), методов анализа данных, машинного обучения (Machine Learning), больших языковых моделей (Large Language Models, LLM), технологий работы со знаниями (Knowledge Engineering), технологий извлечения и использования знаний (Retrieval-Augmented Generation, RAG), интеллектуальных агентов (Intelligent Agents), мультиагентных систем, гибридного интеллекта [8].

Особое внимание уделяется определению роли интеллектуальных компонентов в архитектуре ИИС, оценке ограничений современных моделей ИИ и обеспечению их взаимодействия с другими компонентами системы.

В рамках изучения интеллектуальных технологий рассматриваются ограничения современных моделей ИИ, включая зависимость качества результатов от полноты и качества данных, возможность формирования недостоверных ответов, а также подходы к повышению надежности интеллектуальных функций, в том числе с использованием технологий извлечения и использования знаний.

4) Моделирование и экспериментальная оценка проектных решений – освоение методов построения моделей систем, проведения вычислительных экспериментов, анализа характеристик различных вариантов реализации и применения методов моделирования (Simulation-Based Design) для обоснования архитектурных решений.

5) Инфраструктура и эксплуатация интеллектуальных систем – рассмотрение вопросов организации вычислительной среды, взаимодействия компонентов, надежности, безопасности и развития ИИС, включая сопровождение интеллектуальных компонентов и управление их жизненным циклом (MLOps).

Развернутое описание программы подготовки архитекторов ИИС, структуры образовательных модулей и входящих в ее состав учебно-методических материалов представлено в [9].

5. Система проектирования сетей передачи данных

В качестве объекта практической проектной деятельности в рамках ЭНОК «Архитектура ИИС» выступает система проектирования сетей передачи данных (СП СПД), развитие которой основано на результатах создания учебно-исследовательской САПР и системы оптимизации проектирования сетей передачи данных (СОПР СПД) [10]. В предлагаемой образовательной модели подготовки архитекторов ИИС СП СПД используется как средство решения задач проектирования сетей передачи данных и одновременно рассматривается как объект архитектурного развития.

В ходе учебно-исследовательской и проектной деятельности на основе СП СПД обучающиеся решают задачи, связанные с:

– анализом требований к проектируемым объектам;
– разработкой вариантов архитектурных решений;
– определением структуры и параметров проектируемой системы;
– построением моделей функционирования;
– проведением вычислительных экспериментов;
– сравнительной оценкой вариантов проектных решений.

В рамках проектной деятельности можно выделить два взаимосвязанных направления.

Первое направление связано с разработкой проектов сетей передачи данных. В этом случае СП СПД используется как средство поддержки работы проектировщика, обеспечивая формирование вариантов построения сети, моделирование ее функционирования и оценку характеристик получаемых решений.

Важной особенностью практической работы является применение методов моделирования и экспериментального исследования (Simulation-Based Design) для оценки вариантов проектных решений. СП СПД обеспечивает возможность формирования имитационных моделей проектируемых сетей и проведения вычислительных экспериментов с использованием языка GPSS (General Purpose Simulation System), что позволяет исследовать характеристики различных вариантов построения сетей и учитывать результаты моделирования при выборе проектных решений.

Второе направление связано с развитием самой СП СПД как сложной информационной системы. В рамках данного направления обучающиеся выполняют задачи проектирования новых модулей и подсистем системы, разработки вариантов их архитектурной организа-

ции, реализации и интеграции программного обеспечения новых модулей в существующую структуру СП СПД, а также проведения экспериментальной проверки и оценки результатов применения.

Особенностью второго направления является то, что объектом проектирования становится не сеть передачи данных, а сама система проектирования как развивающийся архитектурный объект. Это предполагает анализ существующей архитектуры, оценку влияния предлагаемых изменений на структуру системы, обеспечение взаимодействия новых компонентов с существующими подсистемами и учет особенностей дальнейшего сопровождения и развития системы.

Таким образом, использование СП СПД в рамках ЭНОК «Архитектура ИИС» обеспечивает связь образовательной подготовки с практикой архитектурного проектирования. Обучающиеся получают опыт не только применения существующих инструментальных средств, но и участия в развитии сложных информационных систем, включая формирование архитектурных решений, оценку их эффективности и обеспечение дальнейшей эволюции системы.

6. Заключение

В статье рассмотрена проблема подготовки архитекторов интеллектуальных информационных систем как специалистов нового профиля, деятельность которых включает не только применение технологий искусственного интеллекта, но и формирование, оценку и развитие архитектурных решений для сложных информационных систем.

Предложена образовательная модель подготовки архитекторов ИИС на основе электронного научно-образовательного комплекса «Архитектура ИИС», объединяющего образовательные ресурсы, учебно-методические материалы, практические задания и инструментальные средства поддержки проектной деятельности. Модель реализуется на основе взаимосвязи трех компонентов подготовки – обучения, проектирования и инструментальной поддержки, обеспечивающих последовательный переход от освоения знаний и методов к формированию навыков разработки и оценки архитектурных решений.

Практическая реализация проектной составляющей подготовки представлена на примере системы проектирования сетей передачи данных (СП СПД), которая в предлагаемой модели используется как средство решения задач проектирования и одновременно рассматривается как объект архитектурного развития. Такой подход позволяет формировать у обучающихся навыки анализа требований, разработки и оценки вариантов архитектурных решений, исследования характеристик систем и учета особенностей их дальнейшего сопровождения и развития.

Особенностью предлагаемого подхода является ориентация не только на изучение отдельных технологий искусственного интеллекта, но и на формирование способности архитектора определять место интеллектуальных функций в структуре системы, оценивать возможности и ограничения их применения и обеспечивать согласованное развитие программных, информационных и интеллектуальных компонентов.

Разработанная в рамках предложенной модели программа подготовки архитекторов ИИС может использоваться в образовательном процессе вузов, программах дополнительного профессионального образования и корпоративной подготовки специалистов, ориентированных на проектирование и развитие современных информационных систем.

Опыт практического применения ЭНОК в учебном процессе Казанского федерального университета позволил определить направления дальнейшего развития предложенного подхода к подготовке архитекторов ИИС, включая проведение экспериментальных исследований возможностей применения современных методов и средств искусственного интеллекта в архитектурном проектировании (агентные технологии, управление знаниями, большие языковые модели, методы гибридного интеллекта). Результаты исследований будут использоваться при дальнейшем развитии электронного научно-образовательного комплекса «Архитектура ИИС» и актуализации образовательной программы подготовки архитекторов интеллектуальных информационных систем.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
2. В Татарстане предложена программа развития ИИ до 2030 года [Электронный ресурс] // Министерство цифрового развития государственного управления, информационных технологий и связи Республики Татарстан. 29.01.2026. – URL: https://digital.tatarstan.ru/index.htm/news/2488695.htm (дата обращения: 28.08.2026).
3. Bass L., Clements P., Kazman R. Software Architecture in Practice. 4th ed. Addison-Wesley Professional, 2021.
4. ISO/IEC/IEEE 42010:2022. Systems and software engineering – Architecture description: International Organization for Standardization, 2022.
5. Гостев В.М. Электронный научно-образовательный комплекс «Моделирование телекоммуникационных систем» // Сеточные методы для краевых задач и приложения: материалы 10-й международной научной конференции. Казань: Казанский университет, 2014. – С. 220 – 224.
6. Gostev V. Electronic Scientific-Educational Complex «Geoinformation Technologies and Systems» // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2016: Conference Proceedings. 2016. Vol. III. P.809–816.
7. Steenhuis H.-J., Rowland L. Project-Based Learning: How to Approach, Report, Present, and Learn from Course-Long Projects. New York: Business Expert Press, 2018.
8. Shneiderman B. Human-Centered AI. – Oxford: Oxford University Press, 2022. – 377 p.
9. Образовательная программа «Архитектура интеллектуальных информационных систем» [Электронный ресурс]. – URL: http://ais.gvmax.ru (дата обращения: 28.08.2026).
10. Gostev V. The Program System for Design Optimization of Data Transmission Networks // Mesh Methods for Boundary-Value Problems and Applications: 13th International Conference, Kazan, Russia, 2020. Lecture Notes in Computational Science and Engineering. Vol.141. Cham: Springer, 2022. P.173–183. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87809-2_13.

УДК 004.65

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОМЕРНОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ MOLAP-ТЕХНОЛОГИИ В MICROSOFT SQL SERVER ANALYSIS SERVICES

Елендеев А.Г., студент;
ORCID: 0009-0002-6687-8804;
E-mail: elendeevsasha5@gmail.com;
Бикмуллина И.И., к.т.н., доцент АСОИУ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-0194-2687;
E-mail: elsiyar-b@yandex.ru

BUILDING A MULTIDIMENSIONAL ANALYTICAL SYSTEM BASED ON MOLAP TECHNOLOGY IN MICROSOFT SQL SERVER ANALYSIS SERVICES

Elendeev A.G., Student,
ORCID: 0009-0002-6687-8804;
E-mail: elendeevsasha5@gmail.com;
Bikmullina I.I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor of ASOIU, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-0194-2687;
E-mail: elsiyar-b@yandex.ru

Аннотация

Возрастающие объёмы корпоративных данных и усложнение аналитических задач формируют запрос на специализированные технологии хранения и обработки информации, способные обеспечить интерактивный многомерный анализ в режиме реального времени. Настоящая работа посвящена реализации полного цикла создания аналитической системы на основе технологии MOLAP (Multidimensional OLAP) с применением инструментов Microsoft SQL Server Management Studio и SQL Server Analysis Services. В рамках исследования последовательно решены четыре практические задачи: установка и настройка компонентов программной среды; проектирование и развёртывание реляционного хранилища данных по схеме «Звезда», включающей четыре таблицы измерений (Время, Продукт, Клиент, Канал сбыта) и таблицу фактов продаж; создание и обработка MOLAP-куба в SSAS с настройкой мер и агрегатных функций; разработка и выполнение одиннадцати MDX-запросов, охватывающих базовую выборку, операции сечения (slice), детализации (drill-down / roll-up), вычисляемые члены и ранжирование. Экспериментально подтверждено, что технология MOLAP обеспечивает многократное ускорение аналитических запросов по сравнению с прямым обращением к реляционным таблицам за счёт предварительной агрегации данных в многомерной структуре. Полученные результаты могут служить учебно-методической основой при изучении дисциплин в области управления данными и бизнес-аналитики, а также отправной точкой для создания промышленных BI-решений на платформе Microsoft.

Ключевые слова: MOLAP, OLAP; многомерный куб, SQL Server Analysis Services, SSAS; схема «Звезда», MDX, хранилище данных, бизнес-аналитика, управление данными

Abstract

The growing volumes of corporate data volumes and increasing complexity analytical tasks are driving demand for specialised data storage and processing technologies capable of delivering interactive multidimensional real time analysis. This paper addresses the complete lifecycle of building an analytical system based on MOLAP (Multidimensional OLAP) technology using Microsoft SQL Server Management Studio and SQL Server Analysis Services. Within the study, four practical tasks were sequentially accomplished: installation and configuration of the software environment; design and deployment of a relational data warehouse following Star-schema, comprising four dimension tables (Time, Product, Customer, Sales Channel) and a sales fact table; creation and processing of a MOLAP cube in SSAS, with measures and aggregate function configuration; development and execution of eleven MDX queries covering basic data retrieval, slice operations, drill-down / roll-up, calculated members, and ranking. It has been experimentally confirmed that MOLAP technology provides a multiple-fold speedup of analytical queries compared to direct querying of relational tables, due to the pre-aggregation of data stored in a multidimensional structure. The obtained results can serve as as an educational and methodological foundation for courses in data management and business intelligence courses, as well as a starting point for building production-grade BI solutions on the Microsoft platform.

Keywords: MOLAP, OLAP, multidimensional cube, SQL Server Analysis Services, SSAS, Star-schema, MDX, data warehouse, business intelligence, data management

Введение

Традиционные реляционные системы управления базами данных проектировались для транзакционной обработки данных (OLTP) и эффективно справляются с задачами добавления, изменения и удаления записей. Вместе с тем аналитические запросы, требующие агрегации миллионов строк по множеству измерений, выполняются на реляционных таблицах существенно медленнее, нежели в специализированных аналитических хранилищах. Именно

для решения данного противоречия в конце 1990-х годов была разработана концепция Online Analytical Processing (OLAP).

OLAP-технология предполагает многомерное представление данных в виде куба, где каждое измерение соответствует аналитическому разрезу (время, продукт, география и т.д.), а ячейки куба содержат заранее рассчитанные агрегированные значения показателей. Среди нескольких архитектурных вариантов OLAP особое место занимает MOLAP (Multidimensional OLAP), при котором данные хранятся непосредственно в многомерных массивах на диске, что обеспечивает максимальную скорость аналитических запросов ценой увеличения дискового пространства.

Инструментальная поддержка MOLAP наиболее полно реализована в продукте Microsoft SQL Server Analysis Services (SSAS), входящем в экосистему SQL Server. SSAS предоставляет полный цикл создания куба – от описания источника данных до развёртывания на сервере – и поддерживает специализированный язык запросов MDX (Multidimensional Expressions), позволяющий выражать многомерные вычисления декларативно.

Целью работы является разработка и исследование аналитической системы на основе MOLAP-куба в SSAS, охватывающей весь технологический цикл: от реляционного хранилища до выполнения сложных MDX-запросов.

Задачи исследования:

– подготовка программной среды (SSMS и SSAS);

– проектирование реляционного хранилища по схеме «Звезда»;

– создание и настройка MOLAP-куба в SSAS;

– разработка и анализ MDX-запросов различной сложности.

Методика

Исследование выполнялось с применением следующих программных компонентов: Microsoft SQL Server 2022 как реляционная СУБД; SQL Server Management Studio 22 (SSMS) для разработки и администрирования реляционного хранилища; Visual Studio 2022 с расширением SQL Server Analysis Services для проектирования и развёртывания куба; SQL Server Analysis Services (SSAS) в режиме Multidimensional в качестве сервера OLAP. Все компоненты были развёрнуты локально.

Методологическая основа работы – поэтапный подход к построению MOLAP-системы, включающий моделирование предметной области, нормализацию реляционной схемы, денормализацию до схемы «Звезда», создание объектов SSAS и верификацию через MDX-запросы. Язык MDX применялся согласно официальной документации Microsoft.

Предметная область – розничная торговля: система учёта продаж товаров по различным каналам сбыта в разрезе времени, продуктов, клиентов и каналов. Данная область достаточно сложна для демонстрации полного функционала OLAP и одновременно понятна для интерпретации результатов.

Реляционное хранилище: схема «Звезда»

Схема «Звезда» (Star Schema) является наиболее распространённым способом организации данных в аналитических хранилищах. В центре схемы располагается таблица фактов, хранящая числовые измеримые показатели и внешние ключи к таблицам измерений. Измерения описывают контекст событий – кто, что, где и когда.

В рамках исследования реализованы следующие сущности. Таблица измерений DimDate хранит атрибуты дат: год, квартал, месяц, название месяца, день, день недели. Таблица DimProduct содержит каталог товаров с классификацией по подкатегориям и категориям, а также розничную цену. DimCustomer описывает покупателей с атрибутами города, страны и демографическими данными. DimChannel хранит сведения о каналах сбыта (розница, интернет-магазин, оптовые продажи). Центральная таблица FactSales содержит внешние ключи ко всем четырём измерениям и числовые показатели: сумму продажи, количество единиц и себестоимость единицы; поле прибыли реализовано как вычисляемое.

Таблица 1

Структура таблицы фактов FactSales

Поле	Тип данных	Описание
SalesKey	INT IDENTITY	Суррогатный ключ
DateKey	INT (FK)	Ссылка на DimDate
ProductKey	INT (FK)	Ссылка на DimProduct
CustomerKey	INT (FK)	Ссылка на DimCustomer
ChannelKey	INT (FK)	Ссылка на DimChannel
SalesAmount	DECIMAL(12,2)	Сумма продажи, руб.
Quantity	INT	Количество единиц
UnitCost	DECIMAL(10,2)	Себестоимость единицы
Profit	Вычисляемое поле	SalesAmount – Quantity × UnitCost

Таблицы заполнены тестовыми данными за период 2021–2023 гг., включающими 10 продуктов из 5 категорий, 10 клиентов из различных городов России и 3 канала сбыта. Корректность схемы подтверждена диаграммой в SSMS.

Разработка MOLAP-куба в SSAS

Создание куба выполнялось в Visual Studio 2022 с шаблоном «Многомерный проект служб Analysis Services». После определения свойств развёртывания (целевой сервер – localhost) был добавлен источник данных с указанием строки подключения к реляционной базе. На основе источника сформировано представление источников данных, включающее все пять таблиц схемы «Звезда» с автоматически определёнными связями.

Для удобства аналитических запросов в DimDate создано именованное вычисление FullMonthYear, объединяющее название месяца и год в одну текстовую строку. По каждой таблице измерений созданы объекты Dimension с соответствующими атрибутами и иерархиями: для даты – иерархия Год → Квартал → Месяц; для продукта – Категория → Подкатегория → Товар.

Куб «Продажи» создан с нуля с выбором трёх базовых мер: SalesAmount (агрегация Sum), Quantity (агрегация Sum) и UnitCost (агрегация Average). Мера Profit реализована в виде вычисляемого члена MDX. После настройки использования измерений (Dimension Usage) проект был развёрнут на сервере и обработан с полной загрузкой данных. Успешное развёртывание подтверждено сообщением SSAS и корректным отображением данных в браузере куба.

MDX-запросы и анализ данных

Язык MDX (Multidimensional Expressions) предназначен для работы с многомерными структурами OLAP и концептуально отличается от SQL: вместо строк и столбцов реляционных таблиц он оперирует осями, кортежами и множествами. Базовый синтаксис предполагает указание набора мер на одной оси и набора членов измерения на другой.

В рамках исследования разработан и выполнен ряд MDX-запросов нарастающей сложности. Первая группа запросов реализовала базовую выборку: выручка по календарным годам и перекрёстный анализ «год × категория товара». Вторая группа – операции сечения: фиксация значения одного измерения (например, только 2023 год или только интернет-канал) с агрегацией по оставшимся. Третья группа включала вычисляемые члены: долю канала сбыта от общей выручки и динамику роста «год к году» с применением функции ParallelPeriod. Четвёртая группа использовала функции ранжирования и фильтрации: отбор ТОП-3 товаров по выручке через функцию TopCount и отображение только позиций с выручкой свыше 50 000 руб. через функцию Filter. Пятая группа демонстрировала детализацию: раскрытие иерархии «год → квартал → месяц» с применением DrilldownLevel.

Таблица 2

Перечень разработанных MDX-запросов

№	Тип запроса	Описание
1	Базовая выборка	Выручка по годам
2	Базовая выборка	Выручка и количество по категориям
3	Перекрёстный анализ	Год × категория товара
4	Сечение	Выручка 2023 г. по категориям
5	Сечение	Анализ по интернет-каналу
6	Вычисляемый член	Доля канала от общей выручки
7	Вычисляемый член	Динамика роста выручки год к году
8	Ранжирование/фильтрация	ТОП-3 товара по выручке
9	Ранжирование/фильтрация	Товары с выручкой более 50 000 руб.
10	Ранжирование/фильтрация	Ранжирование всех товаров
11	Детализация	Иерархия квартал → месяц

Все запросы выполнялись в SSMS через подключение к Analysis Services. Результаты запросов подтвердили корректность как схемы хранилища, так и настроек куба: агрегированные значения совпали с ожидаемыми на основе тестовых данных.

Выводы

В ходе работы реализован полный цикл создания MOLAP-аналитической системы на платформе Microsoft SQL Server. На первом этапе подготовлена программная среда, включающая SSMS, SSAS и Visual Studio 2022. На втором этапе спроектировано реляционное хранилище по схеме «звезда» с четырьмя таблицами измерений и центральной таблицей фактов. На третьем этапе создан MOLAP-куб «Продажи» с настроенными мерами и иерархиями. На четвёртом этапе разработаны одиннадцать MDX-запросов, охватывающих широкий спектр аналитических операций.

Экспериментальные результаты подтвердили принципиальное преимущество MOLAP-архитектуры: предварительная агрегация данных обеспечивает интерактивное время отклика даже при сложных многомерных запросах, что недостижимо при прямом обращении к реляционным таблицам. Гибкий язык MDX позволяет лаконично выражать вычисления, которые в SQL потребовали бы многоуровневых подзапросов и временных таблиц.

Практическая значимость результатов определяется возможностью их непосредственного применения в учебном процессе по дисциплинам «Управление данными» и «Хранилища данных», а также в качестве архитектурного прецедента при проектировании корпоративных BI-систем.

Перспективными направлениями развития работы являются оптимизация агрегаций куба, настройка ролевой безопасности SSAS и интеграция с клиентскими BI-инструментами, в частности Microsoft Power BI и Excel.

Список литературы

1. Федоров, А. Введение в OLAP / А. Федоров, Н. Елманова // КомпьютерПресс. – 2002. – № 2. – С. 166–168. – URL: https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi9/0008205.pdf (дата обращения: 15.05.2026).

2. Миронов, В. В. Агрегация показателей в OLAP-кубе при сведении по зависимым измерениям / В. В. Миронов, Е. С. Макарова // Вестник УГАТУ. – 2012. – № 3. – С. 180–186.

3. Microsoft Docs. Multidimensional Expressions (MDX) Reference [Электронный ресурс]. – URL: https://learn.microsoft.com/ru-ru/analysis-services/multidimensional-models/mdx/ (дата обращения: 10.05.2026).

4. Paulen B., Finken J. SQL Server Analysis Services // Pro SQL Server 2008 Analytics. – Apress, 2009. – P. 143–170.

5. Kimball R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit. – 3rd ed. – Wiley, 2013. – 672 p.

6. Inmon W. H. Building the Data Warehouse. – 4th ed. – Wiley, 2005. – 576 p.

7. Роляков, А. Н. Хранилища данных: методические указания по выполнению лабораторных работ / А. Н. Роляков. – Томск: ТПУ, 2020.

УДК 378

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ЗАНЯТИЯХ РУССКОГО ЯЗЫКА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СЕМЕЙНЫХ ЦЕННОСТЕЙ

Ершова Ю.Н., научный сотрудник Центра семьи и демографии Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0000-9447-8010

OPPORTUNITIES FOR USING DIGITAL TOOLS IN RUSSIAN LANGUAGE CLASSES TO FOSTER FAMILY VALUES

Ershova Yu. N., Researcher at the Center for Family and Demography, Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0000-9447-8010

Аннотация

В статье показан опыт внедрения элементов цифровизации для формирования семейных ценностей на занятиях русского языка у студентов СПО при изучении стилей речи. Цифровизация образования подразумевает замену традиционных методов работы с информацией на использование приложений, программ и онлайн-сервисов. К элементам цифровизации, которые можно применить при изучении данной темы, относится использование справочной правовой информационной системы «КонсультантПлюс» и научной электронной библиотеки eLibrary.ru для обучения навыкам поиска и работы с цифровыми источниками информации, электронных таблиц Excel для систематизации и анализа информации, цифровых сервисов для создания «облака слов» для визуализации результатов контент-анализа.

Ключевые слова: демография, Центр семьи и демографии АН РТ, стили речи, семейные ценности, цифровизация образования

Abstract

The article presents the experience of integrating digitalization elements into Russian language classes to foster family values among secondary vocational education (SVE) students while studying speech styles. Digitalization of education involves replacing traditional methods of working with information with the use of applications, programs, and online services. Among the digitalization elements that can be applied to this topic are the use of the "ConsultantPlus" legal reference information system and the eLibrary.ru scientific electronic library to teach skills in searching and working with digital information sources, Excel spreadsheets for systematizing and analyzing information, and digital services for creating "word clouds" to visualize content analysis results.

Keywords: Demography, Center for Family and Demography of Tatarstan Academy of Sciences, speech styles, family values, digitalization of education

Подходящей темой для формирования семейных ценностей на занятиях по русскому языку у студентов СПО является изучение стилей речи. В качестве примеров текстов были взяты отрывки из художественных произведений, изучаемых в курсе дисциплины «Литература», где раскрывается тема семьи (художественный стиль), нормативно-правовых актов из справочной правовой информационной системы «КонсультантПлюс», регулирующих семейные отношения (официально-деловой стиль), научных работ сотрудников Центра семьи и демографии Академии наук Республики Татарстан из научной электронной библиотеки eLibrary.ru, посвященных научному осмыслению вопросов демографии (научный стиль), и региональных электронных СМИ, освещающих проблемы и современное состояние демографической ситуации в Республике Татарстан (публицистический стиль).

Студентам заранее в качестве домашнего задания было поручено составить облако слов, связанных с семьей, семейными ценностями, определить признаки и характеристики благополучной семьи. «Облаком слов» называют способ визуализации данных, при котором формируется кластер из ключевых слов. Этот инструмент хорошо визуализирует результаты контент-анализа. Существует множество бесплатных онлайн цифровых сервисов для создания «облака слов». Один из полученных вариантов представлен на рис. 1.

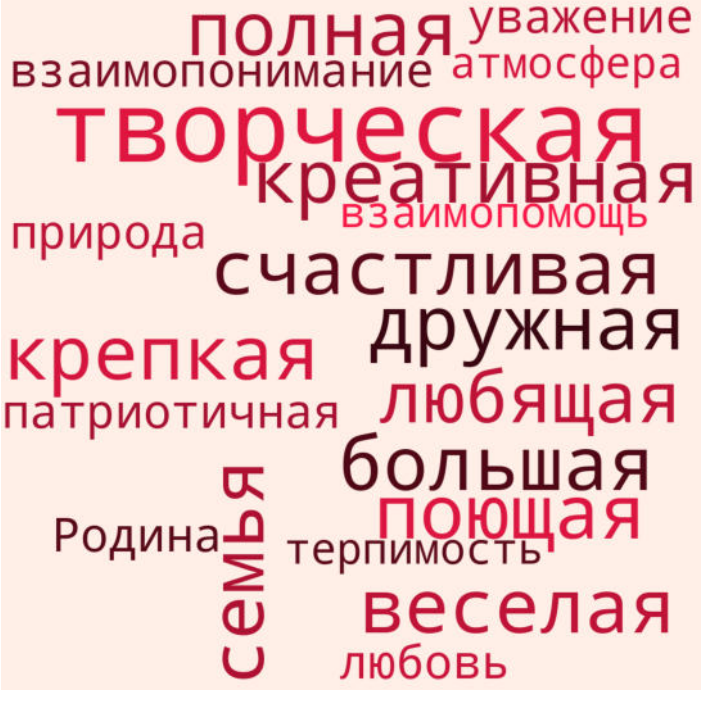


Рис. 1. Облако слов «Семейные ценности»

Для ознакомления с художественным стилем, определения его особенностей и признаков обучающимся представлены отрывки из произведений «Война и мир» Л.Н. Толстого, «Отцы и дети» И.С. Тургенева, «Вишневый сад» А.П. Чехова, «Белая гвардия» М.А. Булгакова, «Тихий Дон» М.А. Шолохова, в которых раскрывается тема семьи. Все эти произведения входят в программу образовательной дисциплины «Литература» и знакомы студентам. Поэтому отрывки представляются без источника, студентам предлагается определить автора и название произведения. На занятиях литературы представленные произведения уже были подробно разобраны, проанализированы и обсуждены. Эти художественные произведения иллюстрируют важность семейных ценностей в жизни человека. Передача ценностей от одного

поколения к другому, любовь, забота о родных и близких, преданность героев произведений показывает значимость семьи для гармоничного развития личности.

Также примером художественного стиля являются пословицы. Пословицы и поговорки – это кладезь народной мудрости, в них отражаются все главные жизненные ценности, в том числе и семейные. Обучающимся предлагается вспомнить известные им пословицы и поговорки о семье и доме. Приведем примеры: «В семью, где лад, счастье дорогу не забывает», «Согласную семью горе не берет», «Дружная семья не знает печали», «У кого есть бабушка и дед, тот не ведает бед» [1].

На занятиях обществознания студенты уже ознакомлены с понятием нормативно-правовых актов и знают, что одной из отраслей права является семейное право. В качестве примеров текстов официально-делового стиля студентам представлены нормативно-правовые документы, регулирующие семейные отношения в Российской Федерации, из справочной правовой информационной системы «КонсультантПлюс», которая позволяет работать с официально-деловым стилем речи на реальных примерах, изучать нормы языка в юридической практике. Таким образом, студенты учатся определять официально-деловой стиль, его особенности и признаки, работать с нормативно-правовыми документами, а также знакомятся с действующим законодательством РФ в отношении семьи, семьи, имеющей детей, многодетной семьи: Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 г. с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020); Семейный кодекс Российской Федерации от 29.12.1995 г. № 223-ФЗ (ред. от 31.07.2023); Стратегия действий по реализации семейной и демографической политики, поддержке многодетности в Российской Федерации до 2036 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 15.03.2025 г. № 615-р); Стратегия комплексной безопасности детей в Российской Федерации на период до 2030 года (утверждена Указом Президента РФ от 17 мая 2023 г. № 358); Национальная стратегия действий в интересах женщин на 2023–2030 годы; Указ Президента Российской Федерации от 23.01.2024 г. № 63 «О мерах социальной поддержки многодетных семей»; Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»; Указ Президента Российской Федерации от 09.11.2022 г. № 809 «Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей»; Федеральный закон «Об актах гражданского состояния» от 15.11.1997 г. № 143-ФЗ; Федеральный закон «О дополнительных гарантиях по социальной поддержке детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей» от 21.12.1996 г. №159-ФЗ; Федеральный закон «Об основах системы профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних» от 24.06.1999 г. №120-ФЗ; Федеральный закон «Об опеке и попечительстве» от 24.04.2008 г. №48-ФЗ; Федеральный закон от 29.12.2006 г. № 256-ФЗ «О дополнительных мерах государственной поддержки семей, имеющих детей» (с изм. и доп.); Федеральный закон от 19.05.1995 № 81-ФЗ «О государственных пособиях гражданам, имеющим детей»; Федеральный закон «Об основах социального обслуживания граждан в Российской Федерации» от 28.12.2013 г. № 442-ФЗ.

А также законодательством Республики Татарстан: Семейный кодекс РТ от 13 января 2009 г. № 4-ЗРТ; Закон РТ «Об адресной социальной поддержке населения в Республике Татарстан» от 8.12.2004 № 63-ЗРТ в ред. Закона РТ от 12.12.2016 № 96-ЗРТ; Государственная программа «Социальная поддержка граждан Республики Татарстан» на 2014–2025 годы (утверждена Постановлением КМ РТ от 23 декабря 2013 года № 1023 (с изменениями на 23 марта 2023 года); План мероприятий по реализации семейной и демографической политики в Республике Татарстан на 2022–2025 годы (утв. Распоряжением Кабинета Министров Республики Татарстан № 2924-р от 28.12.2021 г.); План мероприятий Республики Татарстан, проводимых в рамках Десятилетия детства, на период до 2027 года (утв. Распоряжением Кабинета Министров Республики Татарстан № 1441-р от 02.08.2021 г.); План мероприятий по реализации в Ре-

спублике Татарстан в 2023–2026 годах Национальной стратегии действий в интересах женщин на 2023–2030 годы.

Все это говорит о том, что государство на деле поддерживает родителей с детьми, их ценности и традиции, связь поколений. Например, ст. 38 Конституции РФ гласит:

«1. Материнство и детство, семья находятся под защитой государства.

2. Забота о детях, их воспитание – равное право и обязанность родителей.

3. Трудоспособные дети, достигшие 18 лет, должны заботиться о нетрудоспособных родителях» [2].

Научно-методическим сопровождением национального проекта «Семья» в Республике Татарстан занимается Центр семьи и демографии Академии наук Республики Татарстан. Как было определено на прошедшей 23.01.2025 года коллегии Управления ЗАГС Кабинета Министров Республики Татарстан, Центр семьи и демографии Академии наук Республики Татарстан – единственный в регионе, изучающий семью и демографические явления с научной точки зрения. В качестве примеров текстов научного стиля приводим цитаты из публикаций Центр семьи и демографии АН РТ. Публикации можем найти в научной электронной библиотеке eLibrary.ru. «Полученные ответы респондентов показали, что на детей в российском обществе и семье, прежде всего, воздействуют родители и родственники – 71,0%; затем школа и детский сад – 65,0%; друзья и сверстники – 64,0%; наконец, городская среда – 41,0%, район – 36,0%. Следовательно, после семьи второе важное место по влиянию на детей оказывают, прежде всего, учреждения образования, где дети проводят большую часть своего времени. Также опрос показал, что ответственность родители перед детьми чувствуют, прежде всего, за будущее детей (39,3%), затем за их поведение (33,9%), за здоровье (26%) и образование (20,3%)» [3]. «Средний возраст невест в РФ в 2021 г. превысил отметку в 30 лет (30,3 года), в сельских территориях невесты младше в среднем на 1,72 года. Средний возраст жениха преодолел порог в 32 года (32,1 года), причём в сёлах на 1,4 года ниже, чем в городах, что может быть связано с тем, молодые люди в городах чаще откладывают срок вступления в брак в связи с получением среднего и высшего профессионального образования. Средний возраст вступления в первый брак 26,6 года и 28,7 года у женщин и мужчин соответственно» [4].

В рамках изучения научного стиля создаем анкету и проводим социологический опрос об интересах, хобби и семейных традициях проведения праздников и выходных. Студенты опрашивают друг друга, а потом вся информация сводится в одну базу. В первую очередь таким образом решается очень важная задача по сплочению ребят, т.к. они учатся вместе только первый год и мало знают друг друга, а из анкет находят друзей по интересам. А куратор группы в дальнейшем использует материал при выстраивании внеучебной деятельности и воспитательной работы. Кроме того, расчет, анализ и построение графиков по данным опроса можно продолжить на занятиях математики (тема «Процентные вычисления») и информатики «Построение диаграмм в MS Excel»). Таким образом, с помощью небольшого анкетирования закладываются основы научно-исследовательской работы студентов.

Средства массовой информации в краткой, доступной и понятной массовому читателю форме знакомят граждан с результатами научных исследований и принятыми законами. Региональные СМИ проявляют высокий интерес к демографическим вопросам, т.к. эта тема актуальна для читателей и зрителей, и очень грамотно и бережно освещают результаты научных исследований, проводимых Центром семьи и демографии Академии наук Республики Татарстан. В качестве примера текста публицистического стиля можно привести следующую статью из электронного СМИ Tatar-inform: «Эксперты рассказали «Татар-информу» о том, почему семьи не заводят детей, а главное, как решить демографическую проблему в республике: «Нужны немонетарные методы»: пять мнений о том, как улучшить ситуацию с демографией в РТ» [5].

Эффективным инструментом для формирования, распространения, транслирования и укрепления традиционных семейных духовно-нравственных ценностей, позитивного отно-

шения к многодетным семьям, закрепления многодетности как новой общественной нормы, являющихся ключевой задачей новой семейно-демографической политики, служат специальные тематические занятия русского языка.

Список литературы

1. Ершов, Н. Н. Формирование традиционных семейных ценностей на занятиях русского языка / Н. Н. Ершов, Ю. Н. Ершова // Гуманизм и современность: Материалы Международной научной конференции. В двух томах, Минск, 27 марта 2025 года. – Минск, 2025. – С. 38-40. – EDN PMOXTN.

2. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/ (дата обращения: 26.04.2025).

3. Хайруллина, Ю. Р. Самочувствие детей в российских семьях (на материалах Республики Татарстан) / Ю. Р. Хайруллина, А. З. Хурамшина // Научные труды Центра перспективных экономических исследований. – 2024. – № 26. – С. 139-146. – EDN DLZOOO. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=76096835 (дата обращения: 03.03.2026).

4. Ильдарханова, Ч. И. Российская модель брачности: возрастной и гендерный профиль (2011-2021 гг.) / Ч. И. Ильдарханова, Г. Н. Ершова, Ю. Н. Ершова // Народонаселение. – 2024. – Т. 27, № S1. – С. 5-16. – DOI 10.24412/1561-7785-2024-S1-5-16. – EDN QROBIJ. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67861921 (дата обращения: 03.03.2026).

5. Нужны немонетарные методы: пять мнений о том, как улучшить ситуацию с демографией в РТ. – URL: https://www.tatar-inform.ru/news/kvartiry-i-semeinye-cennosti-cto-pomozet-ulucsit-demografiyu-v-rt-mneniya-ekspertov-5971393 (дата обращения: 26.04.2025).

УДК 744

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ И ИХ РОЛЬ В ПОДГОТОВКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Жоомартов Н.Р., студент;
Шарипов И.И., научный руководитель, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия

MODERN TECHNOLOGIES IN ENGINEERING GRAPHICS AND THEIR ROLE IN THE TRAINING OF TECHNICAL SPECIALISTS

Zhoomartov N.R., Student;
Sharipov I.I., Academic Supervisor, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Аннотация

Инженерная графика является одной из важнейших дисциплин технического образования, формирующей базовые профессиональные компетенции будущих инженеров. В условиях активной цифровизации производства и проектной деятельности роль графической подготовки специалистов неуклонно возрастает. В статье рассматриваются современные технологии инженерной графики, особенности применения систем автоматизированного проектирования (САПР), трёхмерного моделирования и цифровых инструментов в образовательном процессе технических вузов. Анализируется влияние данных технологий на качество подготовки специалистов технического профиля и их готовность к профессиональной дея-

тельности. Показано, что использование современных программных средств позволяет повысить точность проектирования, сократить время разработки конструкторской документации, а также сформировать у студентов компетенции, востребованные на рынке труда. Рассмотрены преимущества интеграции цифровых инструментов в учебный процесс: наглядность представления информации, возможность быстрого внесения изменений, удобство коллективной работы над проектами. Выявлены актуальные проблемы внедрения технологий, связанные с необходимостью сочетания фундаментальной графической подготовки и цифровых инструментов. Сделан вывод о том, что органичное сочетание классических методов инженерной графики и современных цифровых технологий является необходимым условием подготовки квалифицированных инженеров.

Ключевые слова: инженерная графика, САПР, техническое образование, проектирование, черчение, цифровые технологии, трёхмерное моделирование, компетенции, образовательный процесс

Abstract

Engineering graphics is one of the most important disciplines in technical education, forming the basic professional competencies of future engineers. In the context of active digitalization of production and project activities, the role of graphic training for specialists is steadily increasing. The article examines modern engineering graphics technologies, the specifics of using computer-aided design (CAD) systems, three-dimensional modeling and digital tools in the educational process of technical universities. The impact of these technologies on the quality of training of technical specialists and their readiness for professional activity is analyzed. The findings show that modern software tools improves design accuracy, reduces the time required to develop technical documentation, and equips students with labor-market-relevant skills. The advantages of integrating digital tools into the educational process are considered, including visual clarity of information representation, ability to make changes quickly, and convenience of collaborative project work. Current problems in the implementation of these technologies are identified, related to the need to combine fundamental graphic training with digital tools. The article concludes that the organic integration of traditional engineering graphics methods with modern digital technologies is an essential condition for training qualified engineers.

Keywords: engineering graphics, CAD, technical education, design, modeling, digital technologies, 3D modeling, competencies, educational process

Введение

Инженерная графика занимает важное место в системе подготовки специалистов технических направлений. Она представляет собой средство передачи технической информации с помощью графических изображений, чертежей, схем и моделей. Без владения навыками инженерной графики невозможно представить деятельность современного инженера, конструктора или проектировщика [1].

Развитие науки и техники привело к существенным изменениям в подходах к созданию и обработке графической информации. Если ранее основным инструментом инженера были карандаш, линейка и кульман, то сегодня большинство проектных работ выполняется с использованием компьютерных технологий [8]. Несмотря на это, фундаментальные основы инженерной графики сохраняют своё значение и являются необходимой базой для освоения современных программных средств [2].

Методика исследования

В процессе исследования применялись методы анализа научной и учебно-методической литературы, сравнительного анализа современных программных средств инженерной графики, а также обобщение педагогического опыта в области применения цифровых технологий

в техническом образовании [9]. Были изучены требования государственных стандартов ЕСКД [5, 6, 7] и рассмотрены подходы зарубежных исследователей к вопросам графической подготовки инженеров [8, 9, 10].

Значение инженерной графики в подготовке инженеров

Одной из главных задач инженерной графики является формирование пространственного мышления. В процессе обучения студенты учатся представлять объёмные объекты по их изображениям, анализировать форму деталей и понимать взаимное расположение элементов конструкции [3].

Кроме того, инженерная графика способствует развитию логического мышления, внимательности и точности. При выполнении чертежей необходимо соблюдать требования стандартов и правил оформления документации. Даже небольшая ошибка может привести к неправильному пониманию конструкции изделия [4].

Полученные знания используются при изучении специальных дисциплин, связанных с проектированием машин, механизмов, строительных конструкций и инженерных систем. Поэтому инженерная графика рассматривается как одна из базовых дисциплин технического образования [1, 2].

Современные технологии инженерной графики

Современный этап развития инженерной графики связан с широким использованием цифровых технологий. Наиболее значимыми инструментами являются системы автоматизированного проектирования (далее – САПР). Они позволяют создавать чертежи, схемы и модели с высокой точностью и минимальными временными затратами [10].

Использование САПР значительно упрощает процесс разработки документации. Многие операции выполняются автоматически, что позволяет сократить количество ошибок и повысить эффективность работы. Современные программные продукты предоставляют широкий набор инструментов для построения геометрических объектов, нанесения размеров и оформления документации в соответствии с установленными стандартами [6, 7, 8].

Большое распространение получило трёхмерное моделирование. Создание объёмных моделей позволяет визуализировать проектируемые объекты, проводить анализ конструкции и выявлять возможные недостатки ещё до начала производства. Это способствует снижению затрат и повышению качества готовой продукции [8].

Роль цифровых технологий в образовательном процессе

Внедрение цифровых технологий в образовательный процесс позволяет повысить качество подготовки специалистов. Студенты получают возможность работать с теми программными средствами, которые используются на современных предприятиях [9].

Применение компьютерного моделирования способствует более глубокому пониманию изучаемого материала. Объёмные модели позволяют наглядно представить устройство изделия и принципы его работы. Это особенно важно при изучении сложных технических объектов [3].

Ещё одним преимуществом является возможность быстрого внесения изменений в проект. В отличие от традиционного черчения, цифровые технологии позволяют оперативно корректировать документацию без необходимости её полной переработки [10].

Преимущества систем автоматизированного проектирования

Системы автоматизированного проектирования обладают рядом преимуществ. Во-первых, они обеспечивают высокую точность выполнения графических работ. Во-вторых, позволяют значительно сократить время разработки проектов. В-третьих, упрощают хранение и передачу документации [2, 3].

Современные программные комплексы позволяют создавать не только отдельные детали, но и сложные сборочные единицы. Это обеспечивает комплексный подход к проектированию и способствует повышению качества инженерных решений [9].

Кроме того, цифровые технологии обеспечивают удобство коллективной работы. Несколько специалистов могут одновременно участвовать в разработке проекта, что особенно важно при реализации крупных инженерных задач [8].

Проблемы и перспективы развития

Несмотря на значительные преимущества цифровых технологий, существуют определённые трудности их внедрения. Одной из основных проблем является необходимость регулярного обновления программного обеспечения и оборудования [4].

Также важно сохранять баланс между использованием компьютерных средств и изучением фундаментальных основ инженерной графики. Без понимания принципов построения изображений и правил оформления документации невозможно эффективно использовать современные технологии [1, 5].

Перспективы развития инженерной графики связаны с внедрением технологий искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности. Эти инструменты открывают новые возможности для проектирования и обучения [9].

Заключение

Инженерная графика остаётся важнейшей составляющей подготовки современных технических специалистов. Использование цифровых технологий значительно расширяет возможности проектирования и повышает качество образовательного процесса. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) и трёхмерного моделирования позволяют формировать профессиональные компетенции, востребованные на рынке труда [10]. Сочетание классических методов инженерной графики и современных цифровых инструментов является необходимым условием подготовки квалифицированных инженеров [1, 2].

Список литературы

1. Боголюбов, С. К. Инженерная графика / С. К. Боголюбов. – Москва : Машиностроение, 2021. – 352 с.

2. Чекмарев, А. А. Инженерная графика / А. А. Чекмарев. – Москва : Юрайт, 2022. – 389 с.

3. Популяризация инженерного образования через разработку курсов по робототехнике для школьников / Г. Х. Гумерова, М. А. Прец, А. Р. Шаймарданов // Глобальный научный потенциал. – 2025. – № 1 (166). – С. 76-78.

4. Миронов, Б. Г. Сборник заданий по инженерной графике / Б. Г. Миронов. – Москва : Высшая школа, 2020. – 240 с.

5. ГОСТ 2.301-68. Единая система конструкторской документации. Форматы. – Москва : Издательство стандартов, 1968. – 4 с.

6. ГОСТ 2.303-68. Единая система конструкторской документации. Линии. – Москва : Издательство стандартов, 1968. – 6 с.

7. ГОСТ 2.307-2011. Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 30 с.

8. Bertoline, G. R. Fundamentals of Graphics Communication / G. R. Bertoline. – New York : McGraw-Hill, 2021. – 560 p.

9. Shih, R. H. Principles of Engineering Graphics and Design / R. H. Shih. – New York : SDC Publications, 2022. – 480 p.

10. Bethune, J. D. Engineering Graphics with AutoCAD / J. D. Bethune. – New York : Pearson, 2020. – 672 p.

УДК 343.9

СОЦИАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ТОЧКИ СОПРИКОСНОВЕНИЯ

Зотина Е.В., к.ю.н., старший преподаватель кафедры уголовно-правовых дисциплин Казанского юридического института (филиала) Университета прокуратуры Российской Федерации, г. Казань, Россия;
E-mail: ezotina@mail.ru

SOCIAL ENGINEERING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: POINTS OF INTERSECTION

Zotina E.V., Candidate of Legal Sciences, Senior Lecturer at the Department of Criminal Law Disciplines, Kazan Law Institute (Branch) of the University of the Prosecutor's Office of the Russian Federation, Kazan, Russia;
E-mail: ezotina@mail.ru

Аннотация

В данной статье представлен авторский взгляд на понятие социальной инженерии как интегративное явление, требующее привлечения междисциплинарной исследовательской парадигмы к его научно-теоретическому осмыслению; обозначены основные криминологические риски и угрозы, связанные с использованием технологий искусственного интеллекта при совершении социоинженерных атак. Отмечено, что значимая роль в процессе расследования подобных преступлений отводится современным экспертным исследованиям, среди которых следует особо отметить фоноскопическую, автороведческую и лингвистическую экспертизы.

Ключевые слова: приемы социальной инженерии, искусственный интеллект, мошенничество, информационно-телекоммуникационные технологии

Abstract

The article presents the author's perspective on the concept of social engineering as an integrative phenomenon that requires the application of an interdisciplinary research paradigm for its scientific and theoretical understanding; the main criminological risks and threats associated with the use of artificial intelligence technologies in carrying out socio-engineering attacks are identified. It is noted that modern expert research plays a significant role in the investigation of such crimes, among which phonoscopic, authorial, and linguistic examinations should be particularly highlighted.

Keywords: social engineering techniques, artificial intelligence, fraud, information and telecommunications technologies

В настоящее время, в условиях интенсивного развития цифровых технологий, к числу которых относится искусственный интеллект, мошеннические действия с использованием социальной инженерии подвергаются существенной трансформации и требуют нового теоретико-методологического подхода к исследованию самого феномена социальной инженерии.

С точки зрения законодательной инициативы имеется ряд перспективных новаций по сдерживанию криминологической угрозы социальной инженерии: распоряжением Правительства Российской Федерации утверждена Концепция государственной системы противодействия противоправным деяниям, совершаемым с использованием информационно-коммуникационных технологий [1]; принят Федеральный закон от 26.07.2026 № 243-ФЗ «О поддержке развития технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации», легально закрепляющий понятия искусственного интеллекта, больших фундаментальных мо-

делей искусственного интеллекта и механизм их правового регулирования [2]. Кроме того, следует отметить принятие Конвенции ООН против киберпреступности; укрепление международного сотрудничества в борьбе с определенными преступлениями, совершаемыми с использованием информационно-коммуникационных систем, и в обмене доказательствами в электронной форме, относящимися к серьезным преступлениям, подписанную со стороны Российской Федерации Генеральным прокурором Российской Федерации действительным государственным советником юстиции А.В. Гуцаном [3].

Об актуальности проблематики свидетельствуют также и статистические данные. На основании результатов собственной экспертизы компании Positive Technologies, данных экспертного центра безопасности PT Expert Security Center (PT ESC) следует заключить, что основными методами информационных атак на отечественные промышленные предприятия в 2024–2025 гг. оставались использование вредоносного программного обеспечения и применение социальной инженерии, при этом доля атак с использованием приемов социальной инженерии выросла с 49 до 71% [4]. Согласно данным исследования, подготовленного Центром стратегических инноваций ПАО «Ростелеком» совместно с Фондом развития интернет-инициатив и Институтом развития интернета, в первом полугодии 2025 года число случаев мошенничества с использованием дипфейков увеличилось в 2,3 раза. Кроме того, с мошенничеством на основе имитации или синтетической личности сталкивалась примерно треть организаций, которым требуется верификация пользователей или клиентов [5].

Необходимо отметить, что в научном дискурсе встречаются различные толкования указанного понятия, а само исследование данного явления ведется достаточно активно. Подтверждением этому служат данные поискового запроса в системе Российского индекса научного цитирования: за период 2021 – 2026 гг. проиндексировано 1 026 научных статей, в которых в том или ином контексте встречается словосочетание «социальная инженерия».

Преимущественно современная социальная инженерия связана со сферой обеспечения информационной безопасности [6, 7].

Полагаем, понятие «социальной инженерия» применительно к совершению мошеннических действий носит интегративный характер и не должно рассматриваться только в связи со сферой информационных технологий; данное явление, прежде всего, следует изучать с позиции теории речевой коммуникации, психологии, социологии, когнитивистики, психо- и нейролингвистики. В самом общем виде под социальной инженерией понимаем криминальное манипулирование, то есть специально и заранее подготовленное, целенаправленное воздействие преступника на эмоционально-волевую сторону жертвы посредством психолого-речевых приемов. При совершении мошенничества с использованием информационно-телекоммуникационных технологий используются два основных приема социальной инженерии – алгоритм (претекст) и фишинг.

Современное мошенничество с использованием приемов социальной инженерии обладает повышенной степенью общественной опасности. Использование технологий искусственного интеллекта, которые применяются как на стадии планирования и подготовки социоинженерной атаки (OSINT-анализ, разведка данных, сбор конфиденциальной информации о пользователе, исследование «цифровых следов» пребывания в сети Интернет), так и непосредственно в ходе ее реализации (дипфейковые технологии), детерминирует криминальную трансформацию подобных атак, в результате чего каждая атака совершается в значительное более короткое время и при этом носит явно выраженный индивидуализирующий характер, то есть максимально мимикрирует под конкретного пользователя.

Все большее распространение получают мошенничество с использованием дипфейков – искусственно сгенерированного контента (аудио- и видеоряда), а также рассылка фишинговых писем с использованием специально подготовленных чат-ботов.

Таким образом, сама сущность современной социальной инженерии с использованием искусственного интеллекта обусловливает исследование данного явления с привлечением ме-

ждисциплинарных связей из области криминологии, криминальной рискологии, прикладного речеведения, психологии, теории коммуникации, речевого поведения, нейро- и психолингвистики.

Принципиально важным оказывается то, что социальные инженеры воздействуют на жертву не только с использованием специальных психологических приемов, но и особых речевых средств, которые необходимо разграничивать как на собственно лингвистический (сегментный) уровень, так и на супрасегментный (просодический), к которому относятся изменение темпо-ритморальной структуры фразы, тембральной окраски голоса, речевого дыхания, интонационное оформление высказывания. Именно супрасегментный уровень с точки зрения психолингвистики, нейролингвистики и теории коммуникации оказывает наибольшее влияние на когнитивную составляющую потенциальной жертвы.

Каким образом это усугубляется в связи с использованием искусственного интеллекта? Видео- и аудиоизображения, дипфейки с подменой речевых и визуальных особенностей конкретного человека, увеличивают степень доверия потенциальной жертвы и минимизируют ее способности верификации сообщений как ложных.

Высокая степень достоверности подобных сообщений достигается за счет хорошей подготовленности социальных инженеров, использующих OSINT–анализ и технологии обработки больших данных в целях поиска конфиденциальной информации о персоне. При этом социальные инженеры получают комплексный портрет жертвы, состоящий из ее персонографических, социометрических характеристик, а также сведений об особенностях цифрового поведения – увлечения, хобби, предпочтения в выборе товаров, любимые локации и т.п. Все это в совокупности позволяет сделать готовящуюся атаку более таргетированной.

Личная переписка в сети Интернет, аудиозаписи, находящиеся в свободном доступе в сети Интернет или несанкционированно полученные мошенниками, могут стать соответствующими датасетами для обучения нейронных сетей (чат-ботов). Они могут содержать индивидуально стилистические признаки речи определенного лица, что также повышает степень доверия к данным атакам.

В связи с изложенным возникает ключевая проблема – как же противодействовать подобным атакам и как совершенствовать практику выявления, раскрытия и расследования преступлений, совершаемых с использованием приемов социальной инженерии?

Отвечая на первый вопрос, следует указать на привитие навыков информационной гигиены и развитие навыков критического восприятия информации у несовершеннолетних.

С точки зрения выявления, раскрытия и расследования необходимо отметить особую роль специальных знаний, в том числе экспертных исследований. Основополагающее значение приобретают компьютерные, компьютерно-технические и речеведческие криминалистические экспертизы – фоноскопическая, автороведческая. В настоящее время в ЭКЦ МВД России активно разрабатываются методологические основы идентификации авторов электронных текстов и выявления признаков искусственно сгенерированной речи [8, 9].

В заключение необходимо отметить, что только интегративный, междисциплинарный подход к феномену социальной инженерии позволит более глубоко познать онтологическую сущность данного явления и оказать ему эффективное противодействие с применением современных научно-практических разработок.

Список литературы

1. Концепция государственной системы противодействия противоправным деяниям, совершаемым с использованием информационно-коммуникационных технологий: распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.12.2024 № 4154-р // Собрание законодательства Российской Федерации. – 13.01.2025. – № 2, ст. 76.

2. О поддержке развития технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации: Федеральный закон от 26.07.2026 № 243-ФЗ // Российская газета. – 2026. – 31 июля.

3. Конвенция ООН против киберпреступности; укрепление международного сотрудничества в борьбе с определенными преступлениями, совершаемыми с использованием информационно-коммуникационных систем, и в обмене доказательствами в электронной форме, относящимися к серьезным преступлениям. – URL: https://www.un.org/ru/documents/treaty/A-RES-79-243 (дата обращения: 11.08.2026).

4. Актуальные киберугрозы для российских промышленных предприятий. – URL: https://ptsecurity.com/research/analytics/russia-industry-cyberthreat-landscape-2026/ (дата обращения: 11.08.2026).

5. Развитие новых коммуникационных интернет-технологий в России и в мире // ПАО «Ростелеком». – URL: https://www.company.rt.ru/projects/digital_economy_rf/ncit/files/Development_NCIT_Russia_world_2026.pdf (дата обращения: 11.08.2026).

6. Кюнер А.П. Особенности противодействия методам социальной инженерии специалистами по информационной безопасности в рамках центров мониторинга и реагирования / А.П. Кюнер // Информатизация и связь. – 2025. – № 2. – С. 97 – 101.

7. Кюнер А.П. Обзор научных работ по социальной инженерии / А.П. Кюнер, А.А. Чечулин // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2025. – № 4. – С. 94 – 106. –DOI: 10.61260/2218-130X-2025-4-94-106.

8. Громова А.В. Признаки диалогической печатной речи, сгенерированной чат-ботами: экспериментальное исследование / А.В. Громова, М.А. Бердникова // Эксперт-криминалист. – 2025. – № 3. – С. 5 – 9.

9. Громова А.В. Идентификация автора по текстам, создаваемым в ходе переписок в мессенджере: методические рекомендации / А.В. Громова, П.А. Манянин, А.В. Ростовская, С.С. Ошкуков и др. – Москва: ЭКЦ МВД России, 2022. – 108 с.

УДК 378.014

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕПУТАЦИОННОГО АУДИТА НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

Зяббарова А.А., аспирант Академии наук Республики Татарстан, ассистент кафедры проектного менеджмента и оценки бизнеса Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0006-1360-506X

TECHNOLOGY FOR CONDUCTING A REPUTATION AUDIT OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL INSTITUTION IN THE DIGITAL ENVIRONMENT

Zyabbarova A.A., PhD Student, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Assistant at the Department of Project Management and Business Valuation, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0006-1360-506X

Аннотация

В условиях цифровой трансформации высшего образования репутация университета становится ключевым нематериальным активом, определяющим его конкурентоспособность на рынке образовательных услуг. В статье рассматривается технология проведения репутационного аудита высшего учебного заведения в цифровой среде. На основе анализа теоретических подходов и эмпирического исследования предложена комплексная методика оценки

репутации университета, включающая анализ цифровых коммуникаций, мониторинг удовлетворенности стейкхолдеров и оценку эффективности PR-мероприятий. Разработанный алгоритм позволяет выявить проблемные зоны и сформировать стратегию управления репутацией вуза в условиях цифровой экономики. Особое внимание уделяется специфике высшего образования как сферы, где репутация формируется под влиянием академических достижений, научной деятельности, качества подготовки специалистов и цифрового присутствия.

Ключевые слова: репутационный аудит, цифровая репутация, высшее учебное заведение, PR-деятельность, управление репутацией, стейкхолдеры вуза, мониторинг, SMM-стратегия, имидж университета, цифровая среда, бренд вуза

Abstract

In the context of the digital transformation of higher education, a university's reputation s becoming a key intangible asset that determines its competitiveness in the educational services market. The article presents a methodology for conducting a reputational audit of a higher education institution in the digital environment. Based on an analysis of theoretical approaches and empirical research, a comprehensive methodology for assessing university reputation is proposed, including the analysis of digital communications, monitoring of stakeholder satisfaction, and evaluating the effectiveness of PR activities. The developed algorithm makes it possible to identify problem areas and formulate a strategy for managing the university's reputation in the digital economy. Particular attention is paid to the specifics of higher education as a sphere where reputation is formed under the influence of academic achievements, research activity, the quality of specialist training, and digital presence.

Keywords: reputational audit, digital reputation, higher education institution, PR activities, reputation management, university stakeholders, monitoring, SMM strategy, university image, digital environment, university brand

Введение

В современном мире репутация организации, в том числе высшего учебного заведения, становится все более важным критерием конкурентоспособности [8]. Развитие рыночных отношений и цифровизация всех сфер деятельности привели к появлению новых нематериальных активов, среди которых репутация занимает особое место. Она отражает истинную природу организации как в процессе взаимодействия с персоналом, так и во взаимоотношении с внешней средой.

Для высших учебных заведений вопрос формирования положительной репутации и имиджа всегда крайне важен. Рынок образовательных услуг – это сфера острой конкуренции между университетами за абитуриентов, лучших преподавателей, исследовательские гранты и государственную поддержку [6]. В условиях широкого выбора образовательных программ возрастает интерес к известности и репутации вуза. Согласно данным мониторинга качества приема в вузы, репутация университета входит в тройку ключевых факторов выбора абитуриентами места обучения наряду с качеством образования и востребованностью выпускников.

Цифровая трансформация высшего образования, активно развивающаяся в последние годы, выводит репутационный менеджмент на новый уровень. Сегодня репутация университета формируется не только через традиционные каналы коммуникации, но и через цифровую среду: официальные сайты, социальные сети, агрегаторы отзывов, поисковые системы, рейтинговые платформы и международные базы научного цитирования. В этой связи особую актуальность приобретает технология репутационного аудита как инструмента оценки текущего состояния репутации вуза и выработки стратегии ее укрепления.

Существующие подходы к репутационному аудиту вузов ориентированы преимущественно на традиционные коммуникации и не учитывают специфику цифровых каналов, алго-

ритмов поисковых систем и поведенческих паттернов стейкхолдеров в интернете. Это создаёт методологический разрыв между реальным восприятием вуза и его управленческой оценкой.

Цель настоящего исследования – разработать комплексную технологию проведения репутационного аудита высшего учебного заведения с учетом специфики цифровой среды и особенностей функционирования университета как социально-ориентированной и научно-образовательной организации.

Методика

В основу исследования положен комплексный подход, включающий теоретические и эмпирические методы. Теоретическая база исследования основана на анализе научных работ в области PR-деятельности в сфере образования, управления репутацией вузов и имиджелогии [1, 6].

Эмпирическую часть исследования составил анализ практического опыта проведения репутационного аудита высших учебных заведений на примере ряда российских университетов. Исследование включало следующие методы (табл. 1).

Таблица 1

Методы эмпирического исследования

Инструменты	Описание
Анализ нормативной документации	Изучение уставов вузов, стратегий развития, программ стратегического академического лидерства, отчетов о самообследовании
Контент-анализ цифровых коммуникаций	Изучение контента официальных сайтов университетов, групп в социальных сетях, агрегаторов отзывов, независимых образовательных платформ, научных репозиториев
Социологический опрос (анкетирование)	Опрос студентов, преподавателей, сотрудников и выпускников с целью выявления степени удовлетворенности качеством образовательных услуг и определения ключевых факторов формирования репутации вуза
Экспертное интервью	Беседы с проректорами по связям с общественностью и стратегическому развитию, руководителями PR-подразделений университетов
PEST-анализ и SWOT-анализ	Оценка внешних и внутренних факторов, влияющих на репутацию высшего учебного заведения
Мониторинг медийного присутствия	Анализ публикаций в СМИ, научных и образовательных изданиях, социальных сетях и профессиональных сообществах
Рейтинговый анализ	Изучение позиций вуза в национальных и международных рейтингах как объективного показателя репутации

Источник: составлено автором на основе [2].

Критериальная база репутационного аудита высшего учебного заведения включала девять компонентов, адаптированных к специфике университетской деятельности: академическая репутация, качество образовательных услуг, научно-исследовательский потенциал, кадровый потенциал, цифровое присутствие и медийная активность, репутация руководства и управленческой команды, социальная ответственность и вовлеченность, финансовые показатели и инфраструктурное развитие, взаимодействие с ключевыми группами стейкхолдеров (абитуриенты, студенты, родители, выпускники, работодатели, научное сообщество, государственные органы).

Предложенный комплекс методов позволяет провести многоуровневую оценку репутации вуза, сочетая количественные (опросы, рейтинги) и качественные (контент-анализ, экспертные интервью) подходы. Критериальная база, включающая девять компонентов, обеспечивает системный охват всех значимых аспектов университетской деятельности. В то же время применение данной методики требует адаптации под конкретный вуз с учётом его миссии, масштаба и стратегических приоритетов.

Основная часть

Анализ литературных источников показывает, что понятия «имидж» и «репутация» часто отождествляют, однако между ними существуют принципиальные различия [4, 7]. Имидж – это целенаправленно формируемый образ организации, не всегда отражающий ее реальные характеристики. Репутация, в отличие от имиджа, – это заслуженная оценка деятельности организации, основанная на практическом взаимодействии и фактах, формирующаяся в течение длительного периода времени.

Для высшего учебного заведения репутация складывается из следующих ключевых показателей:

– качественная организация образовательной деятельности, соответствующая федеральным государственным образовательным стандартам и международным требованиям;

– результативность научно-исследовательской деятельности, включая публикационную активность, патентование, внедрение разработок;

– успешное освоение маркетинговой деятельности, способствующей реализации стратегических задач развития;

– обеспечение качества подготовки выпускников, востребованных на рынке труда;

– развитие человеческого капитала – повышение профессионального роста преподавателей и сотрудников;

– эффективная финансово-экономическая деятельность и диверсификация источников финансирования;

– цифровая трансформация образовательного процесса и управления.

В цифровой среде репутация университета приобретает новые измерения. Как отмечают исследователи, при оценке репутации вуза все большее значение приобретает анализ частоты поисковых запросов в интернете, отзывов на независимых платформах, активности в социальных сетях, показателей цитируемости научных публикаций, позиций в международных рейтингах и упоминаний в профессиональных сообществах [3].

Сравнительный анализ понятий «имидж» и «репутация» применительно к высшему образованию представлен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика понятий «имидж» и «репутация» высшего учебного заведения

Критерии	Имидж вуза	Репутация вуза
Создание	Активное стремление создать первоначальное впечатление, не всегда соответствующее реальности	Заслуженная оценка деятельности вуза
Оценка	Субъективная	Объективная
Связь с деятельностью	Легенда, миф, предположение	Связь с результатами работы вуза

Окончание табл. 2

Критерии	Имидж вуза	Репутация вуза
Временные характеристики	Достаточно быстро создается при использовании современных рекламных и PR-средств; недолго служит	Создается годами; стратегическая задача; долго эксплуатируется
Коммуникации	Легко корректируется	Трудно поддается корректировке
Инструменты	Формируется при помощи СМИ и инструментов PR (внешние атрибуты, символы)	Результаты профессиональной деятельности; социальная ответственность; формируется при любом контакте с вузом
Организационная основа и ответственность	Разрабатывается в основном PR-специалистом	Создается в аспекте всей деятельности вуза, всех его структурных подразделений
Наличие обратной связи	Может сформироваться без личного контакта с вузом	Важен личный контакт, рекомендация

Источник: составлено автором на основе [4, 7].

Репутационный аудит высшего учебного заведения – это комплексное исследование, направленное на выявление сложившегося общественного мнения о вузе, оценку эффективности его коммуникационной стратегии и определение ключевых факторов, влияющих на восприятие университета различными группами стейкхолдеров.

В ходе исследования были выделены ключевые группы стейкхолдеров вуза (рис. 1), каждая из которых имеет специфические ожидания от университета:

– внутренние стейкхолдеры (студенты, преподаватели, научные сотрудники, административно-управленческий персонал, вспомогательный персонал);

– внешние стейкхолдеры (абитуриенты и их родители, выпускники, работодатели, органы государственной власти и управления, бизнес-партнеры, научное и академическое сообщество, международные партнеры, средства массовой информации, общественные организации).

Анализ ожиданий стейкхолдеров показывает, что репутация вуза формируется под воздействием множества факторов, при этом критически важными являются:

– качество образования и научных исследований;
– уровень трудоустройства и карьерные траектории выпускников;
– академическая среда и комфортность обучения;
– доступность и качество цифровых образовательных сервисов;
– международное признание и рейтинговые позиции.

Разработанная технология репутационного аудита высшего учебного заведения включает восемь последовательных этапов (рис. 1).

Этап 1. Теоретическая подготовка. Определение понятийного аппарата, выбор критериев оценки, адаптация методологии к специфике высшего образования. На данном этапе формируется перечень компонентов репутации с учетом отраслевых особенностей: академическая репутация, качество образовательных услуг, научно-исследовательский потенциал, кадровый потенциал, цифровое присутствие, репутация руководства, социальная ответственность, финансовые показатели, взаимодействие со стейкхолдерами.

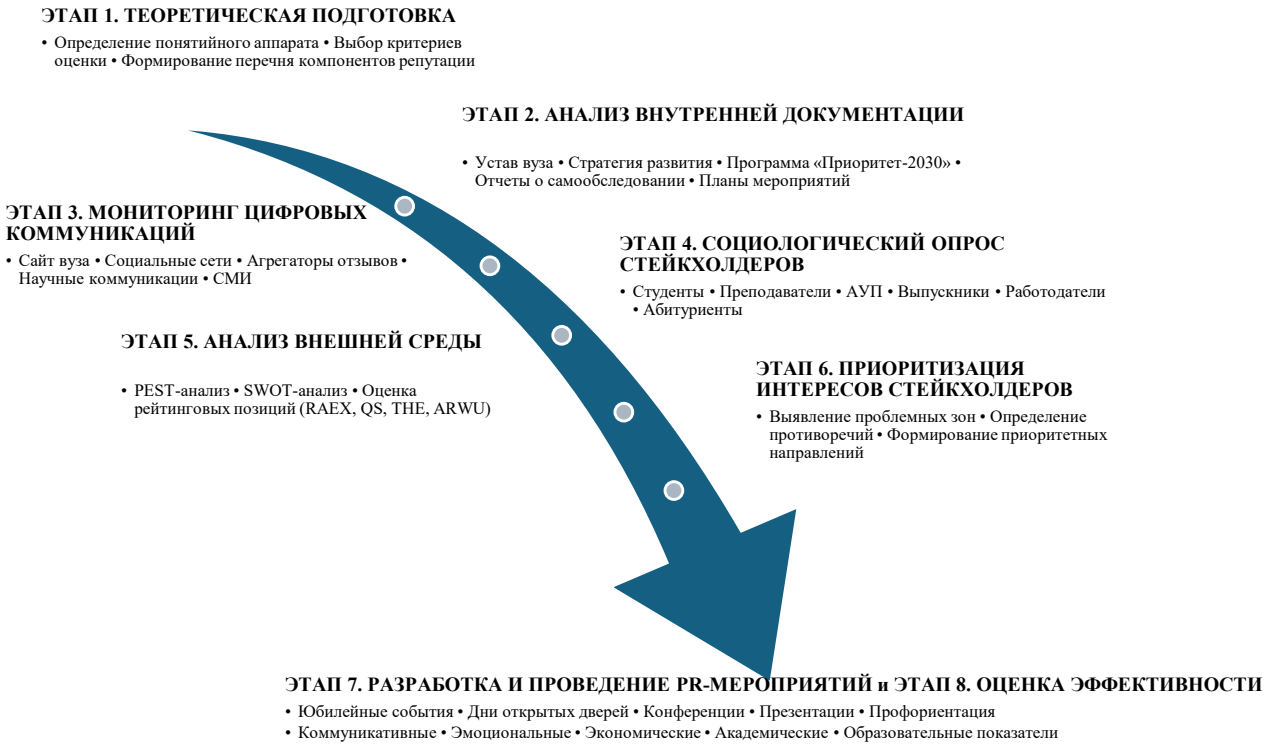


Рис. 1. Технология репутационного аудита высшего учебного заведения

Источник: составлено автором на основе [4, 7].

Этап 2. Анализ внутренней документации. Изучение устава вуза, стратегии развития, программ развития (в том числе программы «Приоритет-2030»), отчетов о самообследовании, планов мероприятий, протоколов заседаний ученого совета, публичных отчетов ректора.

Этап 3. Мониторинг цифровых коммуникаций. Анализ осуществляется по следующим направлениям:

– официальный сайт вуза (анализ структуры, полноты и актуальности информации, удобства навигации, качества визуального контента, наличия мультимедийных материалов, функциональности обратной связи, доступности для иностранных абитуриентов (наличие англоязычной версии);

– социальные сети (оценка активности вуза в ключевых социальных платформах (VK, Рутуб, «Дзен»), анализ контент-стратегии, вовлеченности аудитории, оперативности ответов на вопросы, присутствия в профессиональных сообществах);

– агрегаторы отзывов (контент-анализ отзывов на независимых образовательных платформах, анализ тональности высказываний, выделение ключевых проблемных зон);

– научные коммуникации (анализ публикационной активности, индексов цитирования в национальных и международных базах данных, присутствия в научных социальных сетях (Science ID, Ученые России и др.).

– медийное присутствие (мониторинг упоминаний вуза в СМИ, анализ тональности публикаций, оценка информационных поводов.

Этап 4. Социологический опрос стейкхолдеров. Проведение анкетирования с целью выявления степени удовлетворенности различными аспектами деятельности вуза. В опросе участвуют:

– студенты (всех уровней и форм обучения);
– преподаватели и научные сотрудники;
– административно-управленческий персонал;
– выпускники различных лет;

– работодатели и партнерские организации;
– абитуриенты (для оценки восприятия бренда вуза).

Этап 5. Анализ внешней среды. Проведение PEST-анализа и SWOT-анализа для выявления политических, экономических, социальных и технологических факторов, влияющих на репутацию вуза. Оценка позиций в национальных и международных рейтингах (РАЭКС, «Три миссии университета», QS, THE, ARWU), анализ динамики рейтинговых показателей.

Этап 6. Приоритизация интересов стейкхолдеров. Выявление проблемных зон и точек роста, определение противоречий между ожиданиями различных групп стейкхолдеров, формирование перечня приоритетных направлений для укрепления репутации.

Этап 7. Разработка и проведение PR-мероприятий. Реализация событий, направленных на укрепление репутации вуза, с учетом результатов предыдущих этапов. Приоритетные форматы: юбилейные и памятные события, дни открытых дверей в цифровом формате, научные конференции и форумы, презентации образовательных программ, мероприятия для абитуриентов, профориентационные проекты, взаимодействие с выпускниками, международные образовательные проекты.

Этап 8. Оценка эффективности. Анализ коммуникативных, эмоциональных и экономических показателей проведенных мероприятий, мониторинг динамики рейтинговых позиций, анализ изменения показателей удовлетворенности стейкхолдеров, оценка ROI проведенных PR-активностей.

Оценка эффективности управления репутацией высшего учебного заведения должна проводиться по системе сбалансированных показателей, включающих:

1) показатели цифровой активности (рост посещаемости официального сайта, увеличение подписчиков в социальных сетях, рост вовлеченности, увеличение количества положительных упоминаний);

2) академические показатели (рост публикационной активности, повышение индексов цитирования, увеличение количества научных мероприятий, расширение международного сотрудничества);

3) образовательные показатели (качество приема абитуриентов (средний балл ЕГЭ, конкурс), уровень трудоустройства выпускников, удовлетворенность студентов и выпускников);

4) репутационные показатели (динамика позиций в национальных и международных рейтингах, количество запросов работодателей, число заявок на международные программы, рост числа иностранных студентов);

5) коммуникационные показатели (качество и частота публикаций в СМИ, оперативность реагирования на запросы, эффективность работы с негативными отзывами);

6) экономические показатели (объем внебюджетных доходов).

В современной практике управления репутацией высших учебных заведений активно используются следующие цифровые инструменты:

1) системы мониторинга социальных сетей (Brand Analytics, IQBuzz, Medialogia) для оперативного отслеживания упоминаний вуза и оценки тональности высказываний;

2) платформы для управления взаимоотношениями с абитуриентами и студентами (CRM-системы, чат-боты, голосовые помощники);

3) инструменты рейтингового прогнозирования для оценки влияния различных факторов на позиции в рейтингах;

4) аналитические панели и дашборды для визуализации ключевых показателей репутации в режиме реального времени;

5) платформы для проведения онлайн-опросов (Яндекс.Формы) для оперативного сбора обратной связи;

6) системы автоматизированного сбора и анализа отзывов на специализированных образовательных платформах.

Проведенное исследование позволило разработать комплексную технологию репутационного аудита высшего учебного заведения в цифровой среде. Апробация технологии на примере российских университетов показала ее эффективность при соблюдении следующих условий:

1) регулярность проведения аудита (не реже одного раза в полугодие) позволяет отслеживать динамику репутационных показателей и своевременно корректировать стратегию;

2) комплексный подход, включающий анализ всех ключевых компонентов репутации, обеспечивает получение достоверных данных для принятия управленческих решений;

3) вовлечение всех групп стейкхолдеров в процесс оценки позволяет получить объективную картину восприятия вуза различными целевыми аудиториями;

4) использование цифровых инструментов мониторинга и анализа значительно повышает оперативность и качество получаемых данных.

5) интеграция результатов репутационного аудита в стратегическое планирование развития вуза обеспечивает системный подход к управлению репутацией.

Ключевыми факторами успешного управления репутацией вуза в цифровой среде являются:

– наличие единой коммуникационной стратегии, интегрирующей все каналы взаимодействия;

– систематическая работа с контентом, отражающим академические и научные достижения вуза;

– построение эффективного диалога со всеми группами стейкхолдеров на основе принципов открытости и прозрачности;

– оперативное реагирование на информационные угрозы и работа с репутационными рисками;

– формирование и поддержание уникального бренда университета, отражающего его миссию и ценности.

Разработанная восьмиэтапная технология репутационного аудита позволяет не только диагностировать текущее состояние репутации вуза, но и выстроить систему управления ею на основе обратной связи от стейкхолдеров. Ключевым результатом этапов 6–8 является переход от оценки к действию: приоритизация проблем, реализация PR-мероприятий и оценка их эффективности. Установлено, что наибольшее влияние на репутацию в цифровой среде оказывают качество цифрового контента, оперативность коммуникаций и наличие обратной связи с аудиторией.

Выводы

Репутационный аудит является необходимым инструментом управления репутацией высшего учебного заведения в цифровой среде. Регулярное проведение аудита позволяет:

1) выявить сильные и слабые стороны деятельности вуза с точки зрения восприятия его различными группами стейкхолдеров;

2) оценить эффективность коммуникационных каналов и цифрового присутствия университета;

3) определить проблемные зоны во взаимодействии с абитуриентами, студентами, выпускниками, работодателями и научным сообществом;

4) разработать стратегию укрепления репутации на основе объективных данных;

5) оценить эффективность проведенных PR-мероприятий и коммуникационных кампаний;

6) отслеживать влияние репутационных факторов на конкурентные позиции вуза на рынке образовательных услуг.

Проведенное исследование подтверждает, что репутация высшего учебного заведения в цифровой среде складывается из взаимосвязанных компонентов: качества образовательных

и научно-исследовательских услуг, цифрового присутствия, социальной активности, репутации руководства и академического сообщества, удовлетворенности стейкхолдеров.

Ключевым элементом поддержания положительной репутации вуза являются системные PR-мероприятия, интегрированные в единую коммуникационную стратегию. Особое значение имеют события, демонстрирующие академические и научные достижения университета (юбилейные мероприятия, крупные научные конференции, международные форумы, презентации образовательных программ).

В цифровой среде важную роль играет комплексное присутствие вуза: официальный сайт с актуальной и структурированной информацией, группы в социальных сетях с качественным контентом, эффективное взаимодействие со СМИ, системная работа с отзывами, присутствие в профессиональных сообществах и научных социальных сетях.

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной технологии репутационного аудита высшего учебного заведения, учитывающей специфику цифровой среды и включающей как традиционные методы оценки (опросы, анализ документации), так и современные инструменты (мониторинг социальных сетей, контент-анализ отзывов, анализ цифрового присутствия, рейтинговый анализ).

В отличие от существующих работ, предлагаемая технология включает не только анализ статичных элементов репутации (сайт, рейтинги), но и динамические параметры: скорость распространения информации, виральность контента, эмоциональный тон обратной связи, что особенно важно в условиях цифровой среды.

Практическая значимость исследования заключается в том, что предложенная технология может быть адаптирована для любых высших учебных заведений, стремящихся повысить свою конкурентоспособность в цифровой среде. Полученные результаты могут быть использованы руководителями вузов, PR-департаментами и маркетинговыми службами при разработке и реализации стратегий управления репутацией.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка методик автоматизированной оценки репутационных рисков вузов, изучение влияния цифровых следов студентов и преподавателей на репутацию университетов, исследование взаимосвязи между корпоративной культурой вуза и его цифровой репутацией, анализ эффективности применения технологий искусственного интеллекта в мониторинге и управлении репутацией университетов.

Список литературы

1. Иванова, Л. А. Роль PR-компании в системе продвижения образовательных услуг вуза / Л. А. Иванова, А. М. Данилова // Ученые записки университета Лесгафта. – 2020. – №3 (181). – С. 168-172.

2. Гатауллина, А. А. Методический подход к оценке и управлению цифровой узнаваемостью вуза: анализ в разрезе федеральных округов РФ / А. А. Гатауллина, А. Ф. Гаряева, А. А. Зяббарова // Управленец. – 2024. – Т. 15. – № 6. – С. 30–47. – DOI 10.29141/2218-5003-2024-15-6-3.

3. Синявец, Т. Д. Управление вузом: технология мониторинга репутации образовательного бренда / Т. Д. Синявец, Е. А. Лунева, Н. В. Катунина // Образование и наука. – 2024. – №4. – С. 68-103.

4. Даулинг, Г. Репутация фирмы: создание, управление и оценка эффективности / Г. Даулинг. – Москва : ИНФРА-М, 2003. – 368 с.

5. Ларионов, И. К. Антикризисное управление: учебник / И. К. Ларионов, Н. И. Брагин, А. Н. Герасин и др. – 2-е изд. – Москва : Дашков и К°, 2019. – 380 с.

6. Прохоров, А. В. Роль репутации вуза в конкурентной среде / А. В. Прохоров, Н. А. Жмырева // Вестник ТГУ. – 2018. – №4 (174). – С. 22-26.

7. Николаева М. А., Зубарева Е. В. Соотношение понятий «имидж» и «репутация» в системе управления образовательной организации / М. А. Николаева, Е. В. Зубарева. – 2016.

8. Шарков, Ф. И. Константы гудвилла: стиль, паблисити, репутация, имидж и бренд фирмы: учеб. пособие / Ф. И. Шарков. – Москва : Дашков и К, 2015.

УДК 519.2(075.8)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА: ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ И РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Канькина О.А., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0006-7981-4622

APPLICATION OF MATHEMATICAL STATISTICS METHODS TO LABOR PRODUCTIVITY: HYPOTHESIS TESTING S AND REGRESSION MODELING

Kankina O.A., Master's Student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0006-7981-4622

Аннотация

В статье рассматривается применение методов математической статистики для анализа производительности труда сотрудников. На основе выборочных данных проверяется гипотеза о соответствии средней производительности установленному нормативному значению с использованием одновыборочного t-критерия Стьюдента. Представлены расчёты выборочных характеристик, коэффициентов регрессии, коэффициента детерминации, а также проверка статистической значимости построенной модели. Результаты расчётов, выполненных вручную и с помощью средств Excel, подтверждают корректность построенной модели. Статья может быть полезна студентам, преподавателям и специалистам, использующим статистические методы в прикладных исследованиях.

Ключевые слова: математическая статистика, проверка статистических гипотез, t-критерий Стьюдента, регрессионный анализ, метод наименьших квадратов, производительность труда, линейная регрессия

Abstract

The article discusses the application of mathematical statistics methods to the analysis of employee labor productivity. Based on sample data, the hypothesis of compliance of average productivity with the established normative value is tested using a one-sample Student's t-test. Calculations of sample characteristics, regression coefficients, the coefficient of determination, as well as verification of the statistical significance of the constructed model are presented. The results of calculations performed manually and using Excel tools confirm the correctness of the constructed model. The article may be useful for students, teachers, and specialists using statistical methods in applied research.

Keywords: mathematical statistics, statistical hypothesis testing, Student's t-test, regression analysis, least squares method, labor productivity, linear regression

В практической статистике часто возникает необходимость проверить, соответствует ли выборочное среднее некоторому заданному теоретическому или нормативному значению. Например, исследователь хочет установить, отличается ли среднее значение признака в выборке от установленного стандарта, нормы или среднего значения, полученного ранее.

Для решения такой задачи используется t-критерий Стьюдента для одной выборки (одновыборочный t-тест). Этот метод применяется, когда генеральная дисперсия неизвестна, а данные имеют приближённо нормальное распределение [1].

Суть проверки состоит в сравнении выборочного среднего $\bar{x}$ с гипотетическим значением μ_0, которое считается истинным по нулевой гипотезе. Разница между ними оценивается с помощью t-статистики, рассчитанной по формуле (1):

$$t = (\bar{x} - \mu_0) / (s/\sqrt{n}), \quad (1)$$

где

$\bar{x}$ – выборочное среднее, s – выборочное стандартное отклонение, n – объём выборки.

Рассчитанное значение t сравнивается с критическим по таблице распределения Стьюдента при n−1 степени свободы и выбранном уровне значимости α (обычно 0,05).

Если |t|>tкр, то нулевая гипотеза отклоняется, что означает статистически значимое отличие выборочного среднего от предполагаемого значения μ_0. Если |t|≤tкр, нулевая гипотеза не отвергается, и различия считаются статистически незначимыми [2].

Процесс проверки гипотезы о численном значении среднего выполняется по следующему алгоритму:

1. Формулировка гипотез.

– Нулевая гипотеза $H_0 : \mu = \mu_0$ – среднее значение признака равно заданному числу [3].

– Альтернативная гипотеза H_1:

двусторонняя $H_1 : \mu \neq \mu_0$;

или односторонняя $H_1 : \mu > \mu_0$ / $H_1 : \mu < \mu_0$ – в зависимости от цели исследования.

2. Выбор уровня значимости α. α=0,05, что соответствует вероятности 5 % ошибочного отклонения верной гипотезы [4].

3. Сбор и подготовка данных.

Из генеральной совокупности отбирается выборка объёмом n, вычисляются выборочные характеристики – среднее $\bar{x}$ и стандартное отклонение s [2].

4. Расчёт эмпирического значения t-критерия (2):

$$t\text{набл} = (\bar{x} - \mu_0) / (s/\sqrt{n}). \quad (2)$$

5. Определение критического значения t.

По таблице Стьюдента находится tкр при выбранном уровне значимости α и n−1 степени свободы.

6. Сравнение результатов и принятие решения.

– Если |tнабл|>tкр, то H_0 отклоняется, и делается вывод о статистически значимом отличии среднего.

– Если |tнабл|≤tкр, нулевая гипотеза не отвергается.

7. Интерпретация результата.

На основании полученных данных формулируется практический вывод о соответствии или несоответствии исследуемого среднего нормативному значению [2].

В организации проведено исследование производительности сотрудников. Измерялось количество обработанных заявок каждым специалистом за день. Известно, что по нормативам компании среднее число обработанных заявок составляет $\mu_0 = 50$. Необходимо установить, отличается ли фактическая производительность сотрудников от нормативного уровня (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные

№	Количество заявок (шт.)
1	52
2	48
3	55
4	50
5	49
6	53
7	47
8	54
9	51
10	50
11	52
12	49

Формулируем гипотезы:

H_0 : μ= μ_0 = 50 – средняя производительность соответствует норме; H_1 : μ ≠ 50 – средняя производительность отличается от нормы.

Проверка выполняется по t-критерию Стьюдента для одной выборки при уровне значимости α=0,05.

1. Среднее значение (3):

$$\bar{x} = (52 + 48 + 55 + 50 + 49 + 53 + 47 + 54 + 51 + 50 + 52 + 49)/12\,. \quad (3)$$

2. Стандартное отклонение (4):

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2{,}62\,. \quad (4)$$

3. Стандартная ошибка (5):

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{2{,}62}{\sqrt{12}} = 0{,}76\,. \quad (5)$$

4. Расчет наблюдаемого значения t:

$$t_{\text{набл}} = \frac{\bar{x} - u_0}{s_{\bar{x}}} = \frac{51 - 50}{0{,}76} = 1{,}32\,. \quad (6)$$

5. Критическое значение t [5]:

При α=0,05 и df=11:

$$t_{\text{кр}} = 2{,}201.$$

6. Принятие решения:

$$|t_{\text{набл}}| = 1{,}32 < t_{\text{кр}} = 2{,}201$$

Следовательно, нулевая гипотеза H_0 не отвергается. Это означает, что средняя производительность сотрудников статистически не отличается от нормативного уровня.

Различия между фактическим средним числом обработанных заявок и нормативным значением 50 заявок не являются статистически значимыми. Таким образом, можно считать, что производительность коллектива соответствует установленным стандартам компании.

Для анализа дополнительных факторов рассмотрим, как зависит производительность сотрудников (количество заявок, y) от продолжительности их рабочего времени (x, часов в день). Для этого построим линейную регрессионную модель методом наименьших квадратов (МНК) в среде Microsoft Excel [1]. Исходные данные представлены на рис. 1.

№	Время работы (ч)	Количество заявок (шт.)
1	6	52
2	5	48
3	7	55
4	6	50
5	5	49
6	7	53
7	4	47
8	7	54
9	6	51
10	6	50
11	7	52
12	5	49

Рис. 1. Исходные данные

Значения коэффициента наклона, пересечения и корреляции представлены на рис. 2.

Наклон (b)	2,274809
Пересечение (a)	37,37405
Корреляция (r)	0,927508

Рис. 2. Наклон, пересечение и корреляция

Значения регрессионной статистики и дисперсионный анализ представлены на рис. 3, 4.

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,927507665
R-квадрат	0,860270469
Нормированный R-квадрат	0,846297516
Стандартная ошибка	0,957892088
Наблюдения	12

Рис. 3. Регрессионная статистика

Дисперсионный анализ					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	56,49109415	56,49109415	61,56683306	1,39477E-05
Остаток	10	9,175572519	0,917557252		
Итого	11	65,66666667			

Рис. 4. Дисперсионный анализ

Таблица уровней зависимости X от Y представлена на рис. 5.

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статист*	*P-Значен*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	37,3740458	1,737479036	21,510502	1,1E-09	33,502701	41,24539	33,5027013	41,24539
Время работы (ч)	2,27480916	0,289915584	7,8464535	1,4E-05	1,628837	2,9207813	1,62883698	2,920781

Рис. 5. Таблица уровней зависимости X от Y

Для проверки правильности построенной модели проведём расчёт коэффициентов регрессии вручную (табл. 2).

Таблица 2

Исходные данные

№	Время работы (ч)	Заявки (шт)
1	6	52
2	5	48
3	7	55
4	6	50
5	5	49
6	7	53
7	4	47
8	7	54
9	6	51
10	6	50
11	7	52
12	5	49

Метод наименьших квадратов основан на минимизации суммы квадратов отклонений (7):

$$\Sigma(y_i - a - bx_i)^2 \to min\,. \tag{7}$$

Для нахождения коэффициентов a и b решается система нормальных уравнений (8):

$$\begin{cases} \Sigma y_i = an + b\Sigma x_i \\ \Sigma x_i y_i = a\Sigma x_i + b\Sigma {x_i}^2 \end{cases} \tag{8}$$

Отсюда выражаем коэффициенты (9):

$$b = \frac{n\Sigma x_i y_i - \Sigma x_i \Sigma y_i}{n\Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2}$$
$$a = \frac{\Sigma y_i - b\Sigma x_i}{n} \tag{9}$$

Вычисляем необходимые суммы:

$$\Sigma x_i = 71;$$

$$\Sigma y_i = 610;$$
$$\Sigma x_i^2 = 427;$$
$$\Sigma x_i y_i = 3636$$

Количество наблюдений n=12.
Для коэффициента b:

$$b = 3{,}88.$$

Для коэффициента a:

$$a = 37{,}46.$$

Подставляем полученные значения в уравнение регрессии (10):

$$y = 37{,}45 + 2{,}26x. \quad (10)$$

Вычисляем суммы квадратов:
– Общая сумма квадратов SST = 65,66;
– Объяснённая сумма квадратов SSR = 56,10;
– Необъяснённая сумма квадратов SSE = 9,56.
Проверка (11):

$$SST = SSR + SSE = 56{,}10 + 9{,}56 = 65{,}66.$$

Коэффициент детерминации (12):

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 0{,}855. \quad (12)$$

Стандартная ошибка оценки (13):

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}} = 0{,}98. \quad (13)$$

Стандартная ошибка коэффициента b (14):

$$S_b = \frac{S_{yx}}{\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}} = 0{,}30. \quad (14)$$

t-критерий для коэффициента b (15):

$$t_{\text{набл}} = \frac{b}{S_b} = 7{,}53. \quad (15)$$

Табличное значение для уровня значимости α=0,05 и df=n–2=10: $t_{кр}$ = 2,228.
Поскольку 7,53>2,228, коэффициент b статистически значим.
F-критерий:

$$F = \frac{SSR/1}{SSE/(n-2)} = 58{,}7$$

Табличное значение для уровня значимости α=0,05, степеней свободы df1= 1 и df2=10:

$$F_{кр} = 4{,}96.$$

Так как 58,7>4,96, регрессионная модель статистически значима в целом.

Результаты расчёта вручную полностью подтверждают значения, найденные с помощью Excel. Следовательно, регрессионная модель построена корректно, а используемый программный инструмент выполняет вычисления точно по формулам метода наименьших квадратов.

Список литературы

1. Microsoft Corporation. Excel. Официальная справка и документация по функциям статистического анализа. – URL: https://support.microsoft.com/excel (дата обращения: 13.04.2026) – Текст: электронный.

2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – 10-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2020. – 479 с.

3. Журнал о математической статистике. Критерий хи-квадрат (χ^2) Пирсона: полное руководство с примером. – URL: https://statblank.com/blog/rukovodstvo-po-kriteriyu-hi-kvadrat?ysclid=mramm3f9cq222960002 (дата обращения: 06.06.2026). – Текст: электронный.

4. Агеев В. В. Методы статистического анализа в Excel / В. В. Агеев. – Москва : Дашков и К°, 2021. – 288 с.

5. Критические значения распределений χ^2 и F (Пирсона и Фишера) // Приложения к учебникам по математической статистике. – Москва : Финансы и статистика, 2019.

УДК 372.878

РАЗВИТИЕ НАЧАЛЬНЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ НАВЫКОВ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ С МОБИЛЬНЫМ ПРИЛОЖЕНИЕМ DUOLINGO

Каркина С.В., к.пед.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-2176-5910;
Большакова М.А., студент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

DEVELOPMENT OF INITIAL MUSIC SKILLS IN PRIMARY SCHOOLCHILDREN IN THE PROCESS OF WORKING WITH THE DUOLINGO MOBILE APPLICATION

Karkina S.V., PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-2176-5910;
Bolshakova M.A., Student, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Аннотация

Данная статья исследует возможности применения современных мобильных приложений для воспитания музыкальных навыков. Мобильное приложение Duolingo предназначено для изучения иностранных языков, но в последние годы разработчики предложили ряд предложений по другим предметным областям среди которых музыка. Данное приложение позволяет получить начальные музыкальные знания и навыки, что открывает новые перспективы в области педагогики музыкального образования. Авторами был сделан обзор современных мобильных приложений и изучен педагогический потенциал мобильного приложения Duolingo. В результате был сделан вывод, что изучение данного курса позволяет стимулировать развитие начальных музыкальных навыков: развивать слух, музыкальное восприятие, навыки игры на инструменте, обучать знаниям элементарной теории музыки и может быть

рекомендовано в качестве дополнительного электронного образовательного ресурса для детей и широкого круга любителей музыки.

Ключевые слова: мобильное приложение, воспитание, искусство, музыка, технологии, мобильное обучение

Abstract

This article explores the possibilities of using modern mobile applications for developing musical skills. The Duolingo mobile application is intended for learning foreign languages, but in recent years, developers have offered a number of applications in other subject areas, including music. This application helps students to acquire initial musical knowledge and skills, opening up new perspectives in music education. The authors reviewed modern mobile applications and examined the pedagogical potential of the Duolingo mobile app. They concluded that this course stimulates the development of initial musical skills: developing ear for music, musical perception, instrument playing skills, teaching knowledge of elementary music theory, and can be recommended as an additional electronic educational resource for children and a wide range of music lovers.

Keywords: mobile application, education, art, music, technology, mobile learning

Введение

В последние десятилетия цифровые технологии претерпели значительные трансформации и постепенно стали неотъемлемой частью не только жизни человека, но и образовательного процесса, существенно расширив его границы. В этом ряду особое место занимают мобильные приложения, стремительный рост популярности которых во многом обусловлен возможностями сделать процесс обучения широко доступным и интерактивным. Среди многочисленных разнообразных приложений, которые можно использовать с личного мобильного телефона, приложение Duolingo [6] выделяется по масштабу предоставления образовательных услуг и своей технологичности, вбирающей самые современные разработки в сфере цифровой среды и искусственного интеллекта. Данное приложение обладает особой структурой, которая основана на многочисленном повторении учебного материала, визуализации задач и предоставлении мгновенной обратной связи. Несколько лет назад разработчики Duolingo представили новый курс в мобильном формате под названием «Музыка», направленный на развитие базовых музыкальных навыков, что позволило открыть новые перспективы для обучения начинающих музыкантов. Принимая во внимание большую увлеченность различными гаджетами в среде молодого поколения, так же, как и доступность мобильных устройств для личного пользования, исследование возможностей данного курса для решения задач музыкального образования представляется актуальной проблемой.

Интерес научного сообщества к развитию музыкальных навыков не теряет своей актуальности в научной и практической сферах музыкального образования, где они рассматриваются как значимая часть художественного воспитания личности и условие освоения культурного наследия общества. Развитие музыкальных навыков необходимо для формирования музыкальных способностей личности, к которым Б.М. Теплов относит музыкальный слух, метро-ритмическое и ладовое чувство, музыкальную память [1]. При этом ядром музыкальности ученый считает навыки, связанные с восприятием и воспроизведением звуковысотных и ритмических музыкальных структур, что в первую очередь обеспечивает наличие музыкального слуха, включающего звуковысотный слух и чувство ритма.

Первой ступенью в развитии музыкальных способностей является формирование первичных музыкальных навыков. Навыком А.Н. Леонтьев называет способ выполнения действия, доведенный до автоматизма в процессе выполнения многочисленных упражнений, который характеризуется освоенностью в высшей степени, что допускает снижения контроля сознания и экономичностью с точки зрения внимания и физиологии. Как правило развитые навыки отличаются скоростью и точностью выполнения задач, гибкостью в их применении

и автоматизированностью. Музыкальные навыки представляют фундаментальную основу для музыкальной деятельности личности, развития исполнительского мастерства и реализации творческой деятельности.

Учитывая специфические психологические особенности возраста младших школьников, следует принять во внимание их особую чувствительность и эмоциональность, что обуславливает сензитивность в отношении развития музыкальных качеств. В период младшего школьного возраста детей отличает высокая восприимчивость к музыкальным элементам, острота слухового восприятия, активный интерес к окружающему, в т.ч. звуковому миру. Формирование любых навыков в этом возрасте происходит наиболее интенсивно и служит надежным фундаментом для дальнейшего личностного развития. Среди основных музыкальных навыков, которые школьники приобретают в начальной школе, следует отнести развитие ритмического чувства, воспитание звуковысотного и ладового слуха, овладение первичными навыками игры на музыкальных инструментах и вокального интонирования. Также важным компонентом музыкальной культуры является изучение основ музыкальной грамоты, что значительно облегчает процесс музыкального воспитания в целом.

Современные цифровые технологии открыли беспрецедентные перспективы для вовлечения начинающих любителей музыки в процесс музыкального образования, направленного на развития личностью своих задатков и дарований. При этом мобильные приложения предоставили широкий спектр дидактических средств для изучения навыков игры на музыкальных инструментах, совершенствования музыкального слуха и ритмического чувства, освоения композиционной техники, что в целом позволило превратить образовательный процесс в захватывающее и увлекательное занятие.

Проведем небольшой обзор мобильных приложений, разработанных в последние десятилетия для музыкантов. Одним из наиболее ранних среди них следует назвать EarMaster (Мастер слуха). Это приложение направлено на тренировку музыкального слуха в процессе изучения теории музыки. В нем предложено несколько тысяч разнообразных упражнений для изучения структуры аккордов и интервалом, тренировки в воспроизведении мелодических построений и ритмических рисунков, проверки точности их восприятия на слух. Приложение подходит для широкого круга обучающихся и строится на повторении предложенных программой образцов.

Еще одним мобильным тренажером является программа Perfect Ear (Совершенный слух). Здесь предлагаются упражнения для закрепления знаний теории музыки (строения интервалов, аккордов, ладов), и для развития метро-ритмического чувства. Кроме изучения теоретических сведений приложение предоставляет возможности для создания индивидуальных упражнений при помощи ручной настройки, позволяющей адаптировать уровень сложности как для начинающих, так и для продвинутых музыкантов.

Быстрому освоению теории музыки способствует приложение Music Theory Helper (Помощник по теории музыки). В нем предлагается изучение нотной грамоты, аккордов и интервалов. Также возможна тренировка слуха. В тоже время функционал недостаточно разработан и приложение доступно только на английском языке.

Существуют мобильные приложения для профессионального изучения музыки, такие как Music Theory Pro (Профессионал в теории музыки). Здесь предложены разнообразные тесты и упражнения для изучения названий нот, ладов, тональностей, строения аккордов и интервалов. Развитие слухового восприятия, изучение сложных музыкальных структур и джазовых построений также включается. Процесс обучения может быть адаптирован для музыкантов любого уровня развития. Также доступно только на английском языке и не имеет бесплатной полноценной версии, кроме ознакомительного доступа.

Полезным приложением для развития слуха можно назвать Complete Ear Trainer (Тренажер слуха), предлагающее стимулирование развития абсолютного и относительного музыкального слуха. Также включены упражнения на изучение аккордов, интервалов, гамм

и ладов. Имеются функции для создания индивидуальных упражнений и ведения подробной статистики прогресса. Среди минусов можно назвать несколько устаревший интерфейс и отсутствие упражнений на тренировку чувства ритма.

Одним из наиболее простых и удобных приложений для изучения нотной грамоты является Music Tutor (Репетитор по музыке). Оно включает задания на чтение нот в разных ключах, изучение структуры интервалов. Имеется несколько уровней изучения. Подходит для коротких ежедневных занятий.

Среди аналогичных полезных приложений для развития музыкальных навыков также можно назвать Rhythm Sight Reading Trainer (Тренажер для ритма), Theory Lessons (Уроки теории), Chet (Чет). В целом все они предлагают разнообразные уроки по музыке, подходят для обучающихся разного уровня подготовки. Последнее приложение из названных также содержит справочных аккордов и гамм для пианистов и гитаристов. Встроенная библиотека содержит аккорды с аппликатурой. Есть генератор музыкальных построений для тренировки.

На основе анализа существующих мобильных приложений можно сказать, что они предоставляют широкий круг образовательных возможностей для обучения начинающего музыканта путем тренировки базовых навыков: чувства ритма, различных видов слуха, изучения нотной грамоты [4]. Каждое из приложений основано на комплексном подходе, что способствует гармоничному развитию личности юных музыкантов [5].

Кроме того, в последние годы активные разработки в области нейросетей способствовали расширению возможностей обучения музыкантов. Характеризуя подобные разработки, в целом следует выделить несколько основных направлений их работы, а именно: создание музыкальных композиций (Soundraw (Звуковая дорожка), Suno AI (Нейросеть Суно)), освоение различных музыкальных инструментов (Yousician), обучение с внедрением искусственного интеллекта (Simply Piano (простое пианино)). Искусственный интеллект при этом служит для предоставления обратной связи и адаптации обучения к индивидуальным потребностям ученика [2]. Можно записывать голос, прослушивать собственное исполнение, получая комментарии и подсказки [3].

Тем не менее, в целом можно сказать, что на сегодняшний день число музыкальных приложений на основе искусственного интеллекта сравнительно невелико [7]. При этом среди них нет таких, которые бы обеспечивали развитие музыкальных навыков на основе комплексного подхода, направленного на изучение нотной грамоты, музыкального слуха и игры на музыкальных инструментах одновременно в рамках предлагаемых упражнений [8].

Методы исследования

На основе изученного материала по теме исследования была определена его цель: исследовать возможности для развития музыкальных навыков у младших школьников мобильного приложения Duolingo, выявить и обосновать методические принципы и приемы его работы. Для достижения поставленной цели были использованы теоретические методы научного анализа (систематизация и обобщение), анализ методической литературы и интернет-источников, сравнительный анализ.

Основные результаты

Приложение Duolingo было разработано в 2011 г. в Питтсбурге. Его разработчиками были Луис фон Ан и Северин Хакер. основной целью было не только изучение иностранных языков, но предоставление образовательных услуг широким слоям населения вне зависимости от социального статуса людей, при этом абсолютно бесплатно. Данное мобильное приложение является многофункциональным. Оно содержит курсы по изучению более 40 иностранных языков как самых распространенных (английский, французский, испанский, немецкий), так и редких (валлийский, клингонский, навахо).

В последние пять лет образовательный профиль Duolingo стал значительно расширяться. В 2023 г. были добавлены курсы по музыке и математике. Интересно, что базовые математические задачи, такие как устный счет, распознавание числовых закономерностей

и упрощенное вычисление предлагаются в контексте простых жизненных ситуаций, например, подсчет чаевых, что служит естественной мотивацией. Курс по музыке предполагает освоение базовых знаний нотной грамоты, развитие слуховых навыков, метро-ритмического слуха и простейших навыков игры на музыкальном инструменте (фортепиано). В 2025 г. в мобильной версии был представлен курс по шахматам, предназначенный для игроков начинающего или среднего уровней. Приложение предлагает формат мини-игр с виртуальным партнером для изучения основных ходов фигур, тактических приемов и стратегий.

Приложение Duolingo основано на методе линейного программированного обучения. Среди основных его принципов обучение в формате мини-задач, простые задания, открытые вопросы, моментальная обратная связь, индивидуальный темп обучения, дифференцированный подход к проверке результатов, систематичность и последовательность обучения. Адаптивный подход, положенный в основу, использует анализ больших данных статистики. система фиксирует ошибки пользователей и задачи, вызывающие затруднения, что позволяет сформировать индивидуальные задания, которые подстраиваются под уровень знаний каждого ученика. Программа имеет встроенные элементы геймификации в виде еженедельного рейтинга игроков, бонусов и наград, выполнения дополнительных заданий в игровой форме.

Следует подробнее остановиться на анализе преимуществ адаптивного тестирования, положенного разработчиками Duolingo в основу методики. По мнению исследователей, именно такая форма оценки знаний способна давать наиболее точную оценку в сравнении со многими другими методами. Это происходят благодаря высокому уровню валидности и надежности, гарантирующих точность диагностики для обучающихся любого уровня. Важным преимуществом также является персонализация обратной связи, возможность сокращения времени на прохождения тестов, способствующее снижению утомляемости. Исследования подтверждают, что адаптивные тесты эффективны для повышения мотивации и вовлеченности в процесс обучения благодаря правильному подбору заданий в соответствии с уровнем знаний ученика.

Еще одним уникальным элементом Duolingo является использование интерактивных персонажей. Они были созданы с помощью нейросетей. Их внедрение делает процесс обучения более интересным и интерактивным. Персонажи являются анимированными, они ведут с обучающимся диалог на языке изучения, обладают яркой индивидуальностью, последовательно выстроенной историей и особым характером. Их внедрение направлено на стимулирование коммуникативных навыков.

Музыкальный курс включает несколько типов упражнений, среди которых определение названий нот на нотном стане, игра мелодических последовательностей на виртуальном инструменте, восприятие построение на слух, распознавание и запоминание нот. Основной принцип построения каждого раздела – прохождение нескольких подготовительных этапов, после которых прохождение заключительного испытания является итоговым исполнением полного музыкального отрывка под аккомпанемент. Приложение использует популярные музыкальные фрагменты разных стилей и жанров, что способствует актуальности и привлекательности упражнений для широкой аудитории.

Комплексный и многосторонний подход способствует расширению возможностей приложения. Платформа становится универсальным инструментом для обучения теоретическим знаниям и практическим навыкам в соответствии с интересами и уровнем подготовки пользователей.

Важным преимуществом музыкального приложения следует назвать точность оценки при прохождение ритмических упражнений. Оценка выполняется искусственным интеллектом по пятибалльной шкале и точно показывает ученику степень успешности выполнения задания. Еще одним преимуществом является визуализация восприятия нот на нотоносцах, которые раскрашены в разные цвета, что способствует их запоминанию.

Выводы

В целом можно сказать, что курс «Музыка», предоставляемый мобильным приложением Duolingo, может быть эффективным современным цифровым инструментом для развития начальных музыкальных навыков. Он будет интересен младшим школьникам благодаря использованию интерактивных персонажей и элементов геймификации. Курс можно рекомендовать для систематического изучения музыки в тех случаях, когда необходима дополнительная практика.

Результатом анализа методов обучения, на которых построен музыкальный курс Duolingo были выделены следующие методические принципы и приемы развития базовых музыкальных навыков: игровой подход, интерактивность, систематичность заданий, разнообразие упражнений, комплексный подход, обратная связь, мотивация через рейтингование результатов, доступность, адаптивность тестов. Методическими приемами приложения является сопоставление нот, тренировка восприятия ритма, упражнения на инструменте, мини-формат уроков, простые задания.

Таким образом, данный курс будет эффективным для развития таких музыкальных навыков, как развитие музыкального слуха, восприятия простейших мелодических последовательностей, начальные навыки игры на инструменте. Все перечисленные навыки являются базовыми для начинающего музыканта. Приложение может быть рекомендовано в качестве дополнительного электронного ресурса для детей, которые занимаются музыкой самостоятельно или в образовательном учреждении. Кроме того, оно будет полезным для изучения базовых основ музыки всеми желающими независимо от возраста и социального статуса.

Список литературы

1. Хабибуллина, Ф. А. Развитие музыкальной культуры в процессе обучения в классе фортепиано у учащихся средних классов средствами онлайн ресурса «Удивительный мир фортепиано» / Ф. А. Хабибуллина, С. В. Каркина // Искусство и художественное образование в контексте межкультурного взаимодействия: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Казань : Изд-во Казан.ун-та, 2023. – С. 993-997.

2. Ямалиева, А. Ф. Развитие артистизма у средних подростков в классе вокала на основе упражнений, разработанных с применением искусственного интеллекта / А. Ф. Ямалиева, С. В. Каркина // Приднепровский научный вестник, 2 (11). – Уральск : Изд-во «Наука и образование», 2025. – С. 43-45.

3. Ямалиева, А. Ф. Развитие воображения у подростков средствами вокальных упражнений, разработанных с помощью нейросетей / А. Ф. Ямалиева, С. В. Каркина, П. П. Терехов // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2025: сборник материалов / Сост.: Р. Ш. Ахмадиева, Р. Н. Минниханов; Под общей ред. член-корр. Академии наук Республики Татарстан, д-ра техн. наук, проф. Р. Н. Минниханова. – Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2025. – Т. 1. – 2146 с. – 1642-1647.

4. Best Apps for Learning Music Theory [Electronic resource] // MusicRadar. – 2023. – URL: https://www.musicradar.com/best-apps-for-learning-music-theory (date of access: 15.05.2026).

5. Ear Training Apps Comparison [Electronic resource] // The Ethan Hein Blog. – 2022. – URL: https://ethanhein.com/blog/ear-training-apps-comparison (date of access: 15.05.2026).

6. Duolingo Inc. Duolingo Language Learning Platform: Research and Development Overview [Electronic resource]. – 2020. – URL: https://www.duolingo.com/research (date of access: 15.05.2026).

7. Yu X. et al. Developments and applications of artificial intelligence in music education // Technologies. – 2023. – Т. 11. – №. 2. – С. 42.

8. Zhang, L., Wang, H. Neural Networks in Music Education: A Review // Journal of Educational Technology. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 45–60.

УДК 37.042

ФОРМИРОВАНИЕ УЧЕБНОЙ МОТИВАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ СРЕДСТВАМИ ИНТЕРАКТИВНЫХ АРТ-ТЕХНОЛОГИЙ

Каркина С.В., к.пед.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-2176-5910;
Ермошкина С.В., магистрант ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

FORMATION OF LEARNING MOTIVATION IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS BY MEANS OF INTERACTIVE ART TECHNOLOGIES

Karkina S.V., PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-2176-5910;
Ermoshkina S.V., Student, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Аннотация

Данная статья исследует проблему формирования устойчивой учебной мотивации обучающихся начальной школы, что является одним из ключевых вопросов образования на современном этапе. Основы познавательного интереса и отношение обучающегося к учебной деятельности в целом формируются именно в первые годы обучения, что обуславливает актуальность исследования. Интерактивные арт-технологии представляют эффективный цифровой инструмент для стимулирования интереса к образовательному процессу. Цель данного исследования – выявить и обосновать педагогический потенциал интерактивных арт-технологий для формирования учебной мотивации у обучающихся начальной школы средствами. Многообразие существующих и применяемых в педагогике форм интерактивных арт-технологий позволяет современному преподавателю выстроить процесс учебной деятельности учитывая доминирующий вид творческой деятельности каждого ученика в отдельности и помочь ему в проектирование индивидуальной траектории развития личности. Внедрение интерактивных арт-технологий в начальной школе обосновано их большим педагогическим потенциалом, который раскрывается посредством возможности трансформации учебного материала традиционного типа в контекст, который визуально является более привлекательным, насыщен яркими позитивными эмоциями и имеет личностную значимость для ученика.

Ключевые слова: мотивация, воспитание, познавательный интерес, интерактивные арт-технологии, начальная школа

Abstract

This article explores the problem of forming sustainable learning motivation in primary school students, which is one of the key issues in education at the present stage. The foundations of cognitive interest and students' attitudes toward learning iactivity as a whole are formed precisely in the first years of schooling, which determines the relevance of the research. Interactive art technologies represent an effective digital tool for stimulating interest in the educational process. The purpose of this study is to identify and substantiate the pedagogical potential of interactive art technologies for developing learning motivation in primary school students. The diversity of forms of interactive art technologies that exist and are used in pedagogy allows the modern teacher to structure the educational process taking into account the dominant type of creative activity of each individual student and to help them in designing an individual trajectory of personal development. The introduction of interactive art technologies in primary schools is justified by their significant pedagogical potential, which is

revealed through the possibility of transforming traditional-type educational material into a context that is visually more attractive, saturated with vivid positive emotions, and has personal significance for the student.

Keywords: motivation, education, cognitive interest, interactive art technologies, primary school

Введение

Начальное образование сегодня переживает значительные трансформации. В наибольшей степени они обусловлены активным внедрением современных педагогических подходов и цифровых технологий. Принимая во внимание значительное преобладание наглядно-образного мышления у младших школьников, их высокую эмоциональную восприимчивость, стремление к творческому самовыражению, интерактивные арт-технологии представляются органичным средством для успешного педагогического воздействия. Современными исследованиями было неоднократно подтверждено [4], что при условии включения различных видов искусства и разнообразных творческих практик в образовательный процесс, познавательная активность обучающихся значительно повышается благодаря усилению внутренней мотивации, а также позитивной самооценки [6].

В период обучения в начальной школе закладываются фундаментальные основы личности ребенка, которые будут определяющими для траектории его дальнейшего развития. В этот период мотивация к обучению выступает не просто как психологический феномен, но представляет собой сложную многокомпонентную систему побуждений, которая включает интерес к познанию, социальные мотивы, эмоциональное и сознательное отношение к образовательной деятельности. В широком смысле понятие «мотивация» является совокупностью побудительных сил, которые определяют общую активность личности и способствуют направлению ее деятельности по достижению поставленной цели.

Зарубежными исследователями мотивация рассматривается в контексте потребностной сферы. Согласно трудам А. Маслоу, мотивация представляет собой потребность в удовлетворении иерархически выстроенных ценностей от базового физиологического уровня до самоактуализации. Относительно учебной деятельности данная теория означает, что формирование устойчивой мотивации к познанию возможно только при удовлетворении потребностей низшего порядка – чувства безопасности, безусловного принятия, принадлежности к определенной социальной группе. Данная концепция позволяет понять условия целенаправленного педагогического воздействия на мотивационную сферу обучающегося.

Отечественные психологи изучают мотивацию обучающихся в контексте деятельностного подхода. А.Н. Леонтьевым понятие «мотив» было рассмотрено как предмет потребности, направляющий его деятельность к определенной цели [1]. По его теории, мотив к учению не обязательно должен совпадать с целями непосредственных учебных действий: иногда дети выполняют поставленные задания ради получения похвалы учителя или других взрослых, а не овладения знанием. Для педагогической практики подобное различие между мотивами, которые служат стимулами, и мотивами смыслообразующими, имеет большое значение как фактор, определяющий ориентиры по формированию внутренней мотивации.

Современными исследованиями подчеркивается критическая роль эмоционального компонента в структуре учебной мотивации. Е.П. Ильин утверждал, что высокая эмоциональная насыщенность учебного процесса является не только желательным условием, но значимым фактором, определяющим эффективность обучения. Это связано с большой ролью эмоций как индикатора личностной значимости изучаемого материала [3]. Переживание ребенком радости от совершенного открытия, удовлетворенности от успешного преодоления трудностей, чувство гордости за результаты, которые были достигнуты при решении проблем, способствуют формированию положительного эмоционального отношения к образовательному

процессу в целом, что в итоге становится надежной психологической основой для развития внутренней мотивации к познанию.

Особенности психолого-возрастного развития младшего школьника связаны с высокой реактивностью эмоциональной сферы. Детям данной возрастной группы свойственна непосредственность в выражении чувств и тесная связь эмоционального состояния, обусловленного конкретными условиями переживаемой ими ситуации. В трудах Е.П. Ильина подчеркивается значимость эмоционального тона урока, который является мощным фактором, который определяет степень вовлеченности обучающегося. При этом положительные эмоции оказывают стимулирующее действие на познавательную активность, тогда как отрицательные становятся блокирующей преградой. По этой причине создание позитивного эмоционального состояния считается современными психологами основным педагогическим принципом эмоциональной поддержки и обязательным условием успешности формирования мотивации к учебной деятельности обучающихся.

Исходя из анализа психолого-возрастных особенностей детей младшего школьного возраста, можно выделить ключевые педагогические условия для формирования учебной мотивации: опора на наглядно-образное мышление, создание эмоциональной насыщенности урока, поддержание положительной эмоциональной атмосферы, использование элементов игры и поддержка непроизвольного внимания, подкрепление учебных достижений и ситуаций успеха, стимулирование учебной самооценки. Перечисленные педагогические условия, обоснованные в работах психологов, могут быть органично реализованы при систематическом и грамотном применении интерактивных арт-технологий в начальной школе.

Методы исследования

На основе изученного материала по теме исследования была определена его цель: выявить и обосновать педагогический потенциал интерактивных арт-технологий для формирования учебной мотивации у обучающихся начальной школы средствами. Для достижения поставленной цели были использованы теоретические методы научного анализа (систематизация и обобщение), анализ методической литературы и интернет-источников, сравнительный анализ.

Основные результаты

Интерактивные арт-технологии открывают новые перспективы в контексте задач начальной школы для стимулирования познавательного интереса и развития учебной мотивации. Б.М. Неменский подчеркивал важную роль искусства как универсального способа познания мира, который позволяет ребенку достичь самовыражения через творческую деятельность [2]. В этом процессе интерактивность делает процесс динамичным, обеспечивает получение мгновенной обратной связи, открывает возможности для персонализации образовательного маршрута каждого обучающегося в отдельности.

В широком смысле в педагогической науке интерактивными арт-технологиями называют совокупность методов, приемов и инструментов, которые обеспечивают активизацию творческого участия ребенка в процессе создания художественного продукта при помощи цифровых средств и мультимедиа. Особенностью данных технологий является наличие незамедлительного действия системы на реакции пользователя, результатом которого становится полноценный образовательный диалог. Е.И. Машбиц указывает, что природа взаимодействия обучающегося с компьютером в учебном процессе отличается интерактивностью, что является ее принципиальным отличием от традиционных технологий. В этой системе ученик переходит от роли пассивного реципиента учебного материала к полноправному участнику его воссоздания и преобразования [5].

В начальной школе применяются несколько разновидностей интерактивных арт-технологий [7].

К первой группе относятся технологии цифрового изобразительного творчества. Сюда входит создание различных видов цифровых рисунков в графических редакторах (Adobe

Spark, Canva, Paint) на планшетах и других носителей при помощи стилуса. Также это может быть создание иллюстраций, раскрашивание и преобразование готовых изображений.

Ко второй группе относятся технологии мультимедийного конструирования. Это может быть создание коллажа, анимации, цифровых книг и интерактивных плакатов. С этой целью используются платформы: Book Creator, PowToon, Animaker.

Третью группу интерактивных арт-технологий составляют технологии для работы со звуком. Эти технологии позволяют создавать несложные музыкальные композиции, озвучивание анимационных персонажей, работа с музыкальными приложениями.

Особенно значимой разновидностью интерактивных арт-технологий являются технологии, реализация которых возможна при помощи специального оборудования – интерактивные доски, панели, специальные цифровые столы.

Не меньший интерес сегодня представляют технологии виртуальной и дополненной реальности, имеющие, по мнению ряда исследователей, исключительный потенциал для формирования учебной мотивации благодаря эффекту личного вовлечения ученика в художественный процесс.

Многообразие существующих и применяемых в педагогике форм интерактивных арт-технологий позволяет современному преподавателю выстроить процесс учебной деятельности, учитывая доминирующий вид творческой деятельности каждого ученика в отдельности, и помочь ему в проектирование индивидуальной траектории развития личности.

Исследователи отмечают, что интерактивное оборудование способствует созданию живого, отзывчивого образовательного пространства. Специфика данных технологий состоит в возможности многоуровневого воздействия на личность ребенка. Художественная деятельность посредством цифровых инструментов помогает активизации в одно и то же время нескольких важных сфер обучающегося: эмоциональной, когнитивной, деятельностной. При этом реализации эмоционального компонента происходит через эстетическое переживание творческого действия, когнитивный получает стимулирование посредством освоения новых приемов работы с информационным материалом, а деятельностный активно включается при помощи практического создания творческой продукции.

Внедрение интерактивных арт-технологий в начальной школе обосновано их большим педагогическим потенциалом, который раскрывается посредством возможности трансформации учебного материала традиционного типа в контекст, который визуально является более привлекательным, насыщен яркими позитивными эмоциями и имеет личностную значимость для ученика. Современные цифровые художественные платформы предоставляют возможность варьирования уровня сложности заданий, темпа работы каждого конкретного ученика, способов представления информации, понятных и удобных ребенку. Подобная гибкость обеспечивает ситуацию успеха обучающегося как ключевого фактора успешной мотивации к учебному процессу.

Выводы

Таким образом, проведенный анализ современных исследований показал, что интерактивные арт-технологий содержат большой педагогический потенциал для формирования учебной мотивации ученика начальной школы. Данный потенциал обусловлен совокупностью их основных характеристик: многоуровневое воздействие на личность, которое охватывает одновременно все основные сферы личности: эмоциональную, когнитивную, деятельностную; способность обеспечения субъектной позиции ученика; создание ситуации успеха и формирование позитивного эмоционального фона; возможность организации коллективной творческой деятельности; интеграция нескольких предметных областей; доступ к мгновенной обратной связи. Для того чтобы данный педагогический потенциал был реализован в полной мере, необходим педагогически грамотный отбор интерактивных арт-технологий, их систематическое применение при учете возраста ребенка, индивидуальных особенностей, интересов, увлечений и общей направленности личности.

Список литературы

1. Божович, Л. И. Личность и ее формирование в детском возрасте / Л. И. Божович. – Санкт-Петербург : Питер, 2023. – 400 с.
2. Булавенко, О. А. Цифровые технологии в начальной школе: учебное пособие / О. А. Булавенко. – Москва : Академия, 2022. – 224 с.
3. Выготский, Л. С. Психология развития ребенка / Л. С. Выготский. – Москва : Эксмо, 2022. – 512 с.
4. Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. Review of Educational Research, 74(1), 59–109.
5. Karkina S, Mena J, Yao L., Digital Transformation of Professional Education: Internet-Assisted Signature Pedagogy for Learning Arts//Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – Vol.1150 LNNS, Is. – P. 272-283.
6. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. American Psychologist, 55 (1), 68–78.
7. Sangeeta, Guo, Q., Devanna, H., Nivethikha, R., Tee, M., & Ravi Kumar, P. (2025). The impact of digital tools on arts education in higher institutions. International Journal of Environmental Sciences, 11 (14s), 519–528.

УДК 004.855.5

МЕТОД СЕМАНТИКО-ОГРАНИЧИТЕЛЬНОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ И УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЗАНЯТИЙ

Кириллов Е.И., студент;
ORCID: 0009-0008-6788-007X;
E-mail: jorikrika@gmail.com;
Прокопьев Н.А., доцент Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

SEMANTIC-CONSTRAINT METHOD FOR MATCHING EDUCATIONAL REQUIREMENTS AND LEARNING MATERIALS TO FORM A LESSON STRUCTURE

Kirillov E.I., student;
ORCID: 0009-0008-6788-007X;
E-mail: jorikrika@gmail.com;
Prokopyev N.A., Associate Professor, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0066-7465;
E-mail: nikolai.prokopyev@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена подзадаче магистерского исследования, связанной с автоматизированным сопоставлением образовательных требований и учебных материалов преподавателя для формирования структуры занятий. Актуальность работы обусловлена необходимостью учитывать ФГОС ВО, рабочие программы, учебные планы, расписание и материалы, представленные в разных форматах. Прямое использование языковой модели не гарантирует проверя-

емого соответствия результата требованиям, поэтому предложен семантико-ограничительный метод. Он объединяет построение связей между требованиями, темами и фрагментами источников, оценку смысловой близости и проверку организационных ограничений. Описаны связанные источники, алгоритм метода, структура прототипа и пилотный эксперимент на тестовом наборе данных. Результаты показали более высокое покрытие требований и меньшую долю ошибочных связей по сравнению с поиском по ключевым словам. Теоретическая значимость состоит в формализации сопоставления слабоструктурированных образовательных документов, практическая – в подготовке основы для модуля формирования карт уроков.

Ключевые слова: искусственный интеллект, высшее образование, учебный план, карта урока, образовательное требование, ФГОС ВО, семантическое сопоставление, учебный материал, прототип, эксперимент

Abstract

The article addresses a subtask of a master's research project: automated matching of educational requirements with teacher-provided learning materials for forming lesson structures. The study is relevant because higher education planning must account for federal educational standards, work programs, curricula, schedules and heterogeneous source materials. Direct use of a language model does not provide verifiable compliance with these requirements, so a semantic and constraint-based method is proposed. It combines links between requirements, topics and source fragments, semantic similarity assessment and checks of organizational constraints. The paper describes related work, the algorithm, prototype structure and a pilot experiment on a test dataset. Compared with keyword search, the approach showed higher requirement coverage and fewer incorrect links. The theoretical significance lies in formalizing the matching of weakly structured educational documents; the practical significance lies in preparing a basis for a lesson map generation module.

Keywords: artificial intelligence, higher education, curriculum, lesson map, educational requirements, federal state educational standards of higher education, semantic matching, learning materials, prototype, experiment

1. Введение

Основной темой исследования является применение технологий и методов на основе ИИ для формирования учебных планов и карт уроков в системе высшего образования. Разрабатываемая система должна помогать преподавателю согласовывать нормативные требования, учебный план, расписание и учебные материалы, а затем получать структуру занятий и основу для карты урока. Но в отличие от обычной генерации текста, в данном случае необходимо проверяемое соответствие результата образовательным требованиям и исходным данным.

Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования задают требования к результатам освоения образовательных программ, однако они не определяют детальное распределение конкретных учебных материалов для занятий [1]. Из-за этого преподавателю приходится самостоятельно связывать компетенции, темы, источники, даты занятий и виды учебной активности. Ручное выполнение данных задач занимает время и затрудняет контроль полноты покрытия требований.

В данной статье из общей темы выделяется одна подзадача: автоматизированное сопоставление образовательных требований и фрагментов учебных материалов преподавателя. Итогом решения подзадачи является набор связей вида требование – тема – фрагмент материала – занятие. Такой набор связей затем может использоваться для формирования учебного плана и карты урока. Научная проблема заключается в том, что имеющиеся методы генерации текста не гарантируют соответствия результата нормативным и организационным ограничениям. Цель статьи – описание предложенного метода, программная реализация прототипа и результат пилотного тестирования учебных данных.

2. Обзор литературы

Если ИИ рассматривается как инструмент, применяемый в высшем образовании, то в современных реалиях это больше одно из средств поддержки преподавателя, персонализация его обучения и анализ необходимых учебных файлов. После рассмотрения проведенных исследований были получены данные о том, что интеллектуальные системы могут использоваться как для аналитики и генерации учебного контента, так и для рекомендаций и оценки, но при этом всём остается достаточно серьезная проблема педагогической интерпретируемости и контроля результата [2]. Также в дополнительных исследованиях можно найти подтверждение о том, что область активно развивается, хоть многие решения и остаются ориентированными на отдельные сценарии и чаще всего требуют адаптации к конкретным образовательным процессам [3].

Модели, предназначенные для генерации, обладают весьма высоким потенциалом для подготовки текстов, заданий или учебных материалов, но при учитывании международных рекомендаций, подчеркивается необходимость прозрачного и ответственного применения технологий такого рода в образовании [4]. Современные большие языковые модели показывают весьма высокий уровень генерации текста, однако их использование в учебном планировании требует внешней проверки фактической точности и соответствия заданному контексту [5]. Для поставленной задачи это означает, что результат ИИ должен быть связан с источниками и проверяемыми требованиями, а преподаватель должен видеть основание для каждого предложенного элемента плана.

Технической основой для связи генерации текста с документами-источниками является подход Retrieval-Augmented Generation (RAG), благодаря которому ответ формируется с учетом найденных фрагментов источников [6]. Но для учебного планирования одного извлечения релевантных фрагментов недостаточно. В данном случае необходимо учитывать расписание, количество занятий, последовательность тем и покрытие образовательных результатов.

Семантическое сопоставление текстов может строиться на контекстных языковых моделях и векторных представлениях. Модели типа BERT позволяют учитывать контекст слов в предложении [7], а Sentence-BERT ориентирован на сравнение смысловой близости предложений и фрагментов текста [8]. Эти методы полезны для поиска близких по смыслу требований и учебных материалов, но требуют дополнительной логики.

Анализ источников показывает, что научное зерно данной подзадачи проявляется в сочетании трех компонентов: семантической релевантности, формальной модели образовательных связей и проверки ограничений. А итог данной комбинации позволяет сделать переход от обычной генерации учебных текстов к подконтрольному построению структуры занятий.

3. Методология

Метод, созданный для будущей системы предназначен для сопоставления образовательных требований и учебных материалов преподавателя. Входные данные состоят из: списка требований и результата обучения, тем дисциплины, файлов учебного материала и параметров расписания. Выходные данные включают в себя: связи между требованиями, темами, фрагментами, занятиями, а также пояснения системы, описывающие причины предложенного распределения.

Метод структурирован в виде цепочки: требование – результат обучения – тема – фрагмент источника – занятие – элементы карты урока. В требовании описывается нормативная и методическая цель, в теме задается содержательная область, в фрагменте источника содержится учебные данные, в занятиях содержится дата и длительность, а в элементе карты урока фиксируется цель, содержание и предполагаемая активность студентов.

Рабочий алгоритм разделен на 5 этапов (табл. 1):

1. Происходит предварительная обработка текста: идет удаление служебных символов, слова приводятся к единому регистру, а также выделяются значимые термины.

2. Осуществляется формирование векторных представлений требований и фрагментов данных.

3. Рассчитывается показатель релевантности между каждыми требованиями и каждым фрагментом данных.

4. Проверяются ограничение: дублирование фрагмента данных не должно осуществляться без необходимости, логическая последовательность в теме должна сохраняться, а длительность занятий должна соответствовать объему.

5. Формируется объяснения результата.

Оценка результата основана на интегральном показателе S, который объединяет смысловую близость текста, наличие у него ключевых образовательных терминов и также штраф за нарушение обозначенных ограничений. В созданном прототипе данный показатель необходим для ранжирования фрагментов данных и выбора их них наиболее подходящего материала для каждого требования. Благодаря этому подходу преподаватель может проверить результат, потому что каждая связь сопровождается ее объяснением.

Таблица 1

Этапы предложенного метода

Этап	Назначение	Результат
1	Загрузка требований, тем, расписания и фрагментов учебных материалов	Набор входных объектов
2	Нормализация текста и выделение значимых терминов	Подготовленные текстовые признаки
3	Расчет релевантности между требованиями и фрагментами	Матрица соответствия
4	Проверка ограничений по темам, датам и объему материала	Отфильтрованный набор связей
5	Формирование объяснения для преподавателя	Проверяемая структура занятия

4. Реализация и результаты

Прототип оформлен в виде экспериментального модуля, который в дальнейшем включается в разрабатываемую веб-ориентированную информационную систему. В прототипе главными компонентами являются модули: загрузки данных, обработки текста, расчета релевантности, проверки ограничений и формирования результата.

– Модуль загрузки принимает таблицу требований, список занятий и набор фрагментов учебного материала;
– Модуль обработки текста подготавливает данные для сопоставления;
– Модуль релевантности вычисляет близость требований и фрагментов;
– Модуль ограничений проверяет допустимость распределения;
– Итоговый модуль формирует таблицу связей и краткое пояснение.

Также дополнительно реализовано сравнение с базовым подходом, основанным на поиске по ключевым словам. Это необходимо для экспериментальной проверки: если данный метод не дает преимущества даже над простым поиском, его применение не является обоснованным. Для этого в тестировании сравнивались два варианта: ключевое сопоставление и семантико-ограничительное сопоставление.

Для проверки подзадачи был подготовлен пилотный набор данных: 6 образовательных требований, 8 тем дисциплины, 18 фрагментов учебного материала и 8 учебных занятий. В качестве эталона использовалось ручное сопоставление требований и фрагментов, которое

выполнено по смыслу и последовательности тем. Эксперимент позволяет проверить работоспособность программного модуля и выявить ограничения метода.

В ходе эксперимента для оценивания были взяты 4 показателя:

1. Покрытие требований – показывает, для какой доли требований найден хотя бы один подходящий фрагмент.

2. Корректные сопоставления – получены путем сравнения с считающимся эталонным ручным тестированием.

3. Нарушения ограничений – получены при подсчете повтора фрагментов, при несоответствии теме занятия, а также неверной последовательности материала.

4. Объяснение результата – его наличие или отсутствие.

Таблица 2

Результаты пилотного эксперимента

Подход	Покрытие требований	Коррективные сопоставления	Нарушения ограничений	Объяснение результата
Поиск по ключевым словам	66,7%	61,1%	5	Нет
Предложенный метод	100%	83,3%	1	Да

Итоги эксперимента указывают на то, что простое ключевое сопоставление пропускает требования по причине того, что в учебных файлах используются близкие по значению, но не совпадающие написанию формулировки. Например, есть требование, оно связано с «анализом данных обучения», но может быть не найдено в файле, где используется иная формулировка «интерпретация результатов обучения». Метод лучше обрабатывает подобные случаи из-за оценки смысловой близости и учета контекста выбранной темы.

Главная сильная сторона метода – это наличие объяснения результата. Прототип для выбранных фрагментов указывал с каким требованием и темой он связан, а также какие термины повлияли на выбор и какие ограничения были проверены. Преподаватели считают это важным аспектом, так как автоматизированный результат должен быть не окончательным решением, а лишь основой для проверки, а также возможного редактирования.

Таким образом, были выявлены ограничения метода:

1. Качество исходных данных и их полноты напрямую влияет на качество сопоставления.

2. Отсутствие возможности осуществления статически строгих выводов при маленьком объеме текстового набора.

3. Система имеет вероятность выбрать по содержанию близкий, но методически менее удачный фрагмент данных, из-за отсутствия экспертной проверки преподавателя.

5. Заключение

Был исследован и рассмотрен вопрос исследования по автоматизированному сопоставлению образовательных требований, а также учебных файлов преподавателя для формирования структуры занятий. Проанализированы связанные источники, показания которых дали понять, что для того, чтобы решить задачу недостаточно лишь одного прямого применения языковой модели или обычного поиска по ключевым словам. Далее был введен семантико-ограниченный метод: он объединяет смысловые сопоставления текстов, их формальную модель образовательных связей и проверку ограничений. Оформлен прототип модуля и его тестирование с набором учебных данных. Результаты же дали понять, что прототип показал более высокое покрытие требований чем ожидалось и меньшее число нарушений ограничений, если сравнивать с ключевым поиском.

Объем тестовых данных и необходимость оценки эксперта качества связей связаны с ограничениями работы. В будущем планируется увеличение набора данных, подключение лучших моделей, а также добавление модуля генерации карт уроков и проведение тестов

с участием преподавателей. Конечные результаты по тестированию будут использованы как фундамент для дальнейшей разработки системы по облегчению жизни преподавателей в формировании учебных планов и карт уроков в высшем образовании.

Список литературы

1. Приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 N 917 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 09.04.02 Информационные системы и технологии» [Электронный ресурс]. – URL: https://fgos.ru/fgos/fgos-09-04-02-informacionnye-sistemy-i-tehnologii-917/ (дата обращения: 26.08.2026).

2. Zawacki-Richter O., Marin V. I., Bond M., Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2019. – Vol. 16. – Article 39. – DOI: 10.1186/s41239-019-0171-0.

3. Crompton H., Burke D. Artificial intelligence in higher education: the state of the field // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2023. – Vol. 20. – Article 22. – DOI: 10.1186/s41239-023-00392-8.

4. UNESCO. Guidance for generative AI in education and research [Electronic resource]. – Paris: UNESCO, 2023. – URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693 (accessed: 26.08.2026).

5. OpenAI. GPT-4 Technical Report [Electronic resource]. – 2023. – URL: https://arxiv.org/abs/2303.08774 (accessed: 26.08.2026).

6. Lewis P., Perez E., Piktus A., Petroni F., Karpukhin V., Goyal N. et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 9459-9474.

7. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of NAACL-HLT 2019. – 2019. – P. 4171-4186. – DOI: 10.18653/v1/N19-1423.

8. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // Proceedings of EMNLP-IJCNLP 2019. – 2019. – P. 3982-3992. – DOI: 10.18653/v1/D19-1410.

УДК 004.056.5:37.091.64

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ В РАМКАХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ В УНИВЕРСИТЕТАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Кожевников Н.А., руководитель R&D отдела;
ORCID: 0009-0006-1919-9568;
E-mail: n.kojevnikov@examus.net;
Храмченкова Е.С., системный аналитик R&D отдела;
ORCID: 0000-0001-6599-1042;
E-mail: k.hramchenkova@examus.net;
Билоус С.И., аналитик R&D отдела;
ORCID: 0009-0009-7596-393X;
E-mail: s.belous@examus.net;
Исхаков А.Н., директор компании ООО «Электронные платформы», г. Екатеринбург, Россия;
ORCID: 0009-0004-3131-5256;
E-mail: almaz@examus.net

IDENTIFICATION OF STUDENTS WITHIN THE EDUCATIONAL PROCESS USING DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES AND E-LEARNING IN UNIVERSITIES OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Kozhevnikov N.A., head of R&D department;
ORCID: 0009-0006-1919-9568;
E-mail: n.kojevnikov@examus.net;
Khramchenkova E. S., systems analyst, R&D department;
ORCID: 0000-0001-6599-1042;
E-mail: k.hramchenkova@examus.net;
Bilous S.I., analyst, R&D department;
ORCID: 0009-0009-7596-393X;
E-mail: s.belous@examus.net;
Iskhakov A.N., Director, LLC Electronic Platforms, Yekaterinburg, Russia;
ORCID: 0009-0004-3131-5256;
E-mail: almaz@examus.net

Аннотация

Исследование посвящено анализу способов идентификации и (или) аутентификации обучающихся, закрепленных в локальных нормативных актах университетов при проведении аттестации с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения. Актуальность обусловлена отсутствием в законодательстве исчерпывающего перечня допустимых способов верификации личности, что оставляет решение этого вопроса на усмотрение образовательной организации, тогда как существующие исследования затрагивают преимущественно общие вопросы качества дистанционного обучения. Целью работы стал комплексный анализ локальных актов, регламентирующих текущий контроль, промежуточную и итоговую аттестацию, а также выявление и классификация закрепленных в них способов идентификации. Методом исследования выступил контент-анализ открытых локальных актов образовательной организации Республики Татарстан по трем видам аттестационных процедур. Установлено, что строгость идентификации личности возрастает по мере повышения значимости процедуры: на итоговой аттестации преобладает видеосвязь с предъявлением документа, а на текущей и промежуточной аттестации – вход по логину и паролю.

Ключевые слова: дистанционное образование, верификация пользователей, биометрическая верификаций личности, образовательные технологии, нормативные требования, прокторинг, способы аутентификации

Abstract

The study examines methods of identifying and (or) authenticating students established in the local regulations of universities during assessment procedures conducted using distance learning technologies and e-learning. The relevance of the study stems from the absence, in current legislation, of an exhaustive list of permissible identification methods, leaving the choice to each institution's discretion, while existing research mainly addresses general issues of distance learning quality. The aim of the work was a comprehensive analysis of local regulations governing current performance monitoring, interim and final assessment, as well as the identification and classification of the identification methods established therein. The research method was a content analysis of publicly available local regulations of a higher education institution of the Republic of Tatarstan across three types of assessment procedures. It was found that the strictness of identity verification increases with the significance of the procedure: video conferencing with presentation of an identity document prevails at final assessment, while login-based access using a username and password dominates at current and interim assessment.

Keywords: distance education, user verification, biometric verification, educational technologies, regulatory requirements, proctoring, authentication methods

1. Введение

Развитие дистанционных образовательных технологий и электронного обучения (далее – ДОТ, ЭО) в российских образовательных организациях высшего образования представляет собой длительный процесс, сопровождающий совершенствование отечественной системы высшего образования. В начале 2000-х годов нормативная база стала оформляться через ведомственные и законодательные акты [1, 2]. Регулирование ДОТ развивалось поступательно от закрепления возможности применения в прежнем законодательстве и ведомственных порядках к выделению в самостоятельный предмет правового регулирования на уровне федерального закона.

Одной из ключевых вех в нормативном закреплении данного направления стало вступление в силу Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [3], статья 16 которого систематизировала и закрепила правовые основы реализации образовательных программ с применением ЭО и ДОТ.

Несмотря на системное развитие нормативно-правовых актов на протяжении длительного периода, качественный скачок в масштабе распространения ДОТ связан с пандемией новой коронавирусной инфекции, обусловившей массовый переход системы высшего образования на удаленный формат взаимодействия [4].

В период пандемии в образовательных организациях высшего образования масштабное развертывание информационных систем сопровождалось соблюдением необходимых требований к выстраиванию дистанционного процесса обучения: обеспечения стабильного канала связи, функциональности цифровых средств обучения и воспитания, а также идентификации и (или) аутентификации обучающихся (далее – верификация личности). Переход затронул все ключевые элементы образовательного процесса, включая организацию оценочных процедур (текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации), которая потребовала дополнительных средств контроля за нарушениями процедуры.

Именно в этот период проблема верификация личности обучающихся приобрела особую значимость, обозначив вектор дальнейшего развития как нормативной базы, так и локальных нормативных актов (далее – ЛНА) образовательных организаций высшего образования. На уровне ведомственных методических рекомендаций способы верификации личности обучающихся были описаны в письме Минобрнауки России [5] для обеспечения контроля за проведением мероприятий с применением ДОТ и ЭО, связанных с оценкой результатов обучения и проведении государственных аттестационных испытаний в устной форме.

Обобщение и систематизация накопленного в период пандемии опыта использования ДОТ и ЭО в образовательном процессе привело к обновлению общей нормативной рамки и формированию правил их применения при реализации образовательных программ, закрепленной Постановлением Правительства Российской Федерации от 11 октября 2023 г. № 1678 [6].

Действующее регулирование закрепляет за образовательной организацией обязанность самостоятельно определять способ верификации личности обучающихся в рамках ЛНА, не устанавливая при этом исчерпывающего перечня допустимых способов. На практике в ЛНА образовательных организаций высшего образования могут закрепляться различные способы верификации личности: проверка преподавателем; предъявление студенческого билета, зачетной книжки или документа, удостоверяющего личность; вход в систему дистанционного обучения с использованием учетных данных (логина и пароля); программное обеспечение, анализирующее характер работы с периферийными устройствами (мышь, клавиатура); использование электронной подписи (простой, неквалифицированной или квалифицированной); использование многофункционального сервиса обмена информацией; использование единой биометрической системы.

Обзор доступных исследований свидетельствует, что преимущественно рассматриваются общие вопросы организации и оценки качества дистанционного обучения, подходы к стандартизации требований к верификации личности пользователя в сетях и технические аспекты аутентификации в ДОТ и ЭО [7-9]. При этом комплексные эмпирические исследования, посвященные способам верификации личности обучающихся, встречаются лишь фрагментарно. В связи с этим настоящая работа направлена на проведение комплексного анализа ЛНА образовательных организаций высшего образования, регламентирующих порядок проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации с применением ДОТ и ЭО, для последующей систематизации и классификации способов верификации личности обучающихся.

2. Материалы и методы исследования

Объектом исследования выступают ЛНА образовательных организаций высшего образования, регламентирующие порядок проведения различных видов аттестации с применением ЭО и ДОТ. Предметом исследования являются закрепленные в этих актах способы идентификации и (или) аутентификации обучающихся.

В рамках исследования определение единиц анализа проведено на основании действующего законодательства в части применения ДОТ и ЭО в образовании. Согласно [6] способ верификации личности обучающихся определяется образовательной организацией самостоятельно и закрепляется в ЛНА. Субъектом такого нормотворчества выступает исключительно образовательная организация как юридическое лицо [3], при этом филиал юридическим лицом не является и действует на основании устава головной организации. В связи с чем, документация филиалов отдельно не анализировалась, а единицей анализа выступает уникальное юридическое лицо – головная образовательная организация.

Информационной базой исследования послужили ЛНА, находящиеся в открытом доступе на официальных сайтах образовательных организаций, применен метод контент-анализа документов посредством систематического выявления и категоризации положений ЛНА, регламентирующих способ верификации личности обучающихся. Анализ проводился по четырем видам аттестационных процедур: вступительные испытания приемной кампании; текущий контроль и промежуточная аттестация; государственная итоговая аттестация (ГИА).

Для каждой организации по каждому виду аттестации фиксировались факт наличия ЛНА, регламентирующего порядок верификации личности; способ технической организации аттестации (видео-конференц-связь (далее – ВКС) или система дистанционного обучения (далее– LMS), в сочетании с применением или без применения прокторинга); конкретный способ верификации личности (логин и пароль; логин и пароль с предъявлением документа, удостоверяющего личность; логин и пароль в сочетании с проверкой через Единую биометрическую систему или с указанием на право ее использования; наличие в ЛНА указания на возможность применения).

Результаты отражают исключительно положения открытых ЛНА на момент анализа. Случаи, когда способ верификации личности в документе не описан или сформулирован неопределенно, фиксировались отдельной категорией и не интерпретировались как отсутствие соответствующей практики. Метод не предполагает проверки фактического исполнения ЛНА образовательными организациями.

3. Результаты и их обсуждение

В рамках пилотного этапа исследования проанализированы ЛНА 21 головной образовательной организации высшего образования Республики Татарстан (10 бюджетных, 5 автономных, 6 частных/негосударственных), что охватывает все виды собственности, представленные в регионе.

При анализе способов технической организации аттестации выявлена дифференциация каналов в зависимости от ее вида (рис. 1). На ГИА доминирует способ ВКС, он применяется в 62% случаев, тогда как LMS для ГИА не используется вовсе. Обратная картина наблюдается

на текущей и промежуточной аттестации, где преобладает LMS (38%) при заметно меньшей доле ВКС (19%). На вступительных испытаниях каналы распределены в равном диапазоне около 40% для ВКС и LMS (включая LMS с прокторингом).

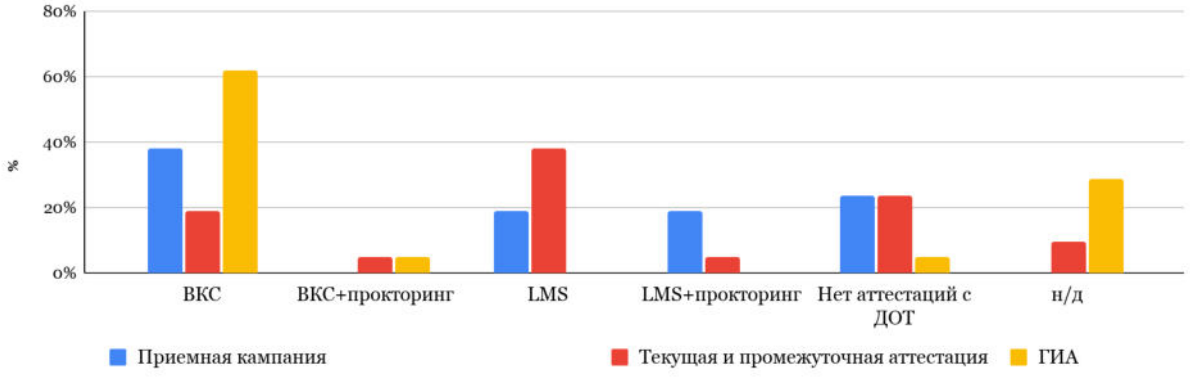


Рис. 1. Способ технической организации аттестации

По способу верификации личности в 45% наблюдений документ не только упоминает аттестацию с ДОТ, но и определяет способ верификации. В тоже время 27% случаев документ существует, но способ верификации личности сформулирован неопределенно и фактически зависит от профессорско-преподавательского состава, а также выбранного способа проведения аттестации. Наиболее полно способ верификации личности определен на текущей и промежуточной аттестации и на ГИА (около 48%), тогда как на вступительных испытаниях этот показатель ниже (около 38%).

Системы прокторинга применяются примерно в равной степени в процедурах приемной кампании и текущей/промежуточной аттестации на уровне около 20% наблюдений, тогда как при ГИА с применением ДОТ прокторинг практически не используется (4,8%).

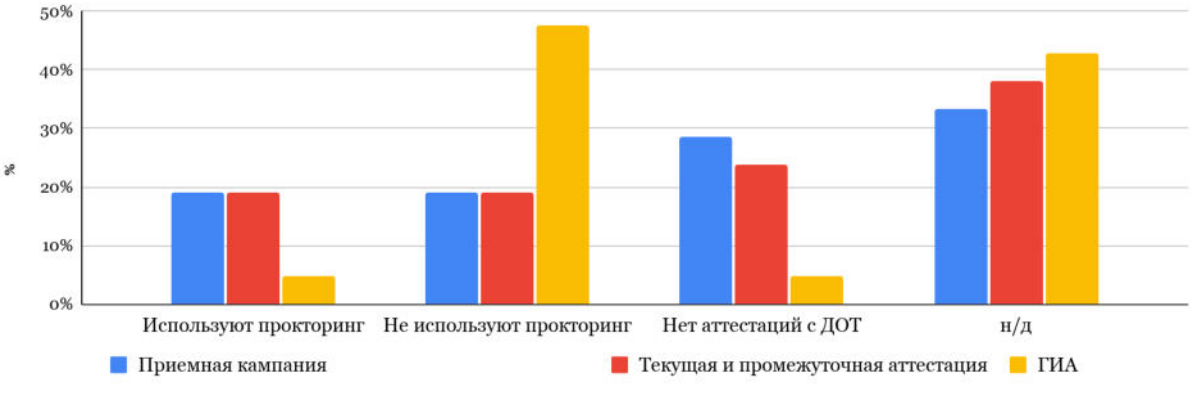


Рис. 2. Использование прокторинга

Распределение способов верификации личности по видам аттестаций с ДОТ (рис. 3) по выборке доминирует предъявление документа, удостоверяющего личность, в рамках ВКС (34,9% всех наблюдений), как основной сценарий, требующий участия уполномоченного представителя со стороны образовательной организации. Использование логин и пароль без дополнительных средств верификации определено в 15,9% случаев, логин и пароль с фотофиксацией документов, удостоверяющих личность аттестуемого, представлено в 11,1%.

По видам аттестации превалирующим способом верификации личности на ГИА является предъявление документа через ВКС (57% случаев), что подтверждает персонализированный подход к верификации личности на итоговой аттестации. На вступительных испытаниях

этот способ также преобладает (38,1%), однако на текущей и промежуточной аттестации он используется существенно реже (9,5%), способы верификации распределены более равномерно между всеми категориями, включая логин и пароль (28,6%) и логин с фотофиксацией (14,3%).

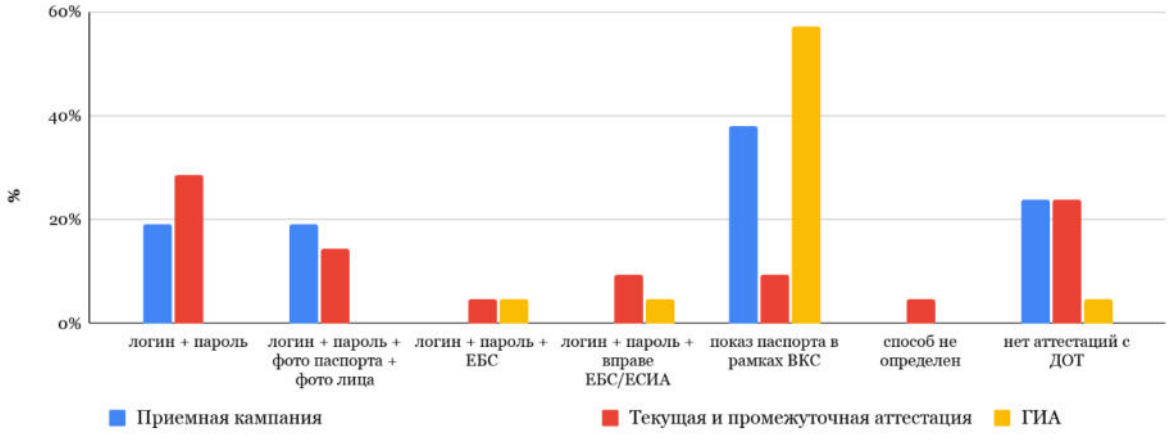


Рис. 3. Способ верификации личности

Взаимодействие с Единой биометрической системой закреплено в ЛНА крайне ограниченно, в среднем лишь в 9,5% наблюдений. Наиболее часто такая возможность предусмотрена при текущей и промежуточной аттестации (около 19,0% случаев).

Обсуждение результатов

Анализ данных (рис. 1-3) позволяет выявить содержательную закономерность, где способ технической организации аттестации и, соответственно, строгость верификации личности нарастают по мере повышения значимости процедуры для итоговой оценки обучающегося.

При приемной кампании (вступительных испытаниях) образовательные организации в равной степени используют два принципиально разных по строгости подхода, а именно вход в LMS по персонализированному логину и паролю (в части случаев в сочетании с системой прокторинга) либо ВКС с предъявлением документа, удостоверяющего личность. Такое распределение объяснимо, ввиду отсутствия на этом этапе у абитуриента сложившихся отношений с образовательной организацией, а значит отсутствует альтернатива в виде ранее выданных персонализированных учетных данных, верификация личности вынужденно строится либо на программном контроле (прокторинг), либо на визуальной проверке документа.

При текущей и промежуточной аттестации преобладает более применимый при массовых процедурах проверки знаний способ – вход в LMS по логину и паролю, которые обучающийся получает уже после зачисления в образовательную организацию. Здесь верификация личности опирается на факт предшествующей выдачи персонализированной учетной записи, как следствие на однократную проверку личности при зачислении, а не на ее повторное подтверждение в момент каждой аттестационной процедуры.

При ГИА с применением ДОТ превалирует ВКС с демонстрацией документа, удостоверяющего личность, как наиболее строгий способ точечной проверки. Итоговая аттестация формирует официальный документ об образовании, что предъявляет повышенные требования к достоверности личности обучающегося и объясняет отказ образовательных организаций от использования одного лишь факта владения учетной записью LMS в пользу непосредственного визуального контроля.

4. Заключение

Анализ ЛНА показал, что преимущественно закрепляются два способа процедуры верификации личности обучающихся: вход в LMS с использованием учетных данных (логина

и пароля) и визуальная сверка изображения обучающегося, транслируемого по видеосвязи, с фотографией в документе (студенческом билете, зачетной книжке или паспорте).

Указанные способы, несмотря на практическую реализуемость и понятность процедуры, сопряжены с рядом рисков. Применение логина и пароля не исключает возможностей подмены личности, поскольку учетные данные могут быть переданы третьим лицам, а дополнительные средства аутентификации (в частности, двухфакторная) в локальных актах, как правило, не предусмотрены. Демонстрация документа с фотографией снижает риск подмены личности, однако порождает проблемы защиты персональных данных: такая сверка, по существу, представляет собой обработку биометрических персональных данных, требующую письменного согласия субъекта, а передача изображения документа и лица обучающегося должна осуществляться по защищенным каналам связи с соблюдением требований информационной безопасности.

Снижение указанных рисков может быть обеспечено посредством применения биометрической верификации личности посредством Единой биометрической системы. Порядок обработки биометрических персональных данных обучающихся определен на уровне Постановления Правительства, при этом согласие на их обработку собирается с использованием единой системы идентификации и аутентификации, что минимизирует риски нарушения требований к обработке персональных данных. Риск подмены личности исключается алгоритмами биометрической сверки, а защита каналов связи обеспечивается требованиями к информационной безопасности при взаимодействии Единой биометрической системы. Таким образом, применение Единой биометрической системы может рассматриваться как перспективное направление, исключающее основные риски, присущие используемым в настоящее время способам верификации личности обучающихся при массовой реализации образовательных программ с применением ДОТ и ЭО. Вместе с тем внедрение данного способа требует от образовательных организаций финансовых вложений в развитие информационной инфраструктуры и временных затрат на технологическое подключение и ввод в промышленную эксплуатацию, что может выступать сдерживающим фактором при его практическом применении.

Список литературы

1. Федеральный закон от 10.01.2003 № 11-ФЗ «О внесении изменений и дополнений в Закон Российской Федерации «Об образовании» и Федеральный закон «О высшем и послевузовском профессиональном образовании».

2. Приказ Минобрнауки России от 06.05.2005 № 137 «Об использовании дистанционных образовательных технологий».

3. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 2012. – № 53, ч. 1. – Ст. 7598.

4. Алешковский И. А. и др. Высшая школа России: вынужденный и плановый переход на удаленный формат в период пандемии (опыт социологического анализа) // Высшее образование в России. – 2021. – №. 5. – С. 120-137.

5. Письмо Минобрнауки России от 03.12.2020 № МН-19/297 «О направлении методических рекомендаций по применению технических средств, обеспечивающих объективность результатов при проведении промежуточной и государственной итоговой аттестации обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий».

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 11.10.2023 № 1678 «Об утверждении Правил применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ».

7. Варламова В. А., Слепцова С. А. Анализ результативности проведения онлайн-обучения на качество образования // Гуманитарные науки. – 2024. – №. 1 (65). – С. 91-95.

8. Фролов Р. Н., Дудченко А. В., Колкарева И. Н. Актуальные проблемы стандартизации требований к верификации личности пользователя в сети при организации дистанционного обучения // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2020. – №. 2. – С. 54.

9. Козлова О. А., Протасова А. А. Использование нейронных сетей в дистанционных образовательных технологиях для идентификации обучающихся // Открытое образование. – 2021. – Т. 25. – №. 3. – С. 26-35.

УДК 004.8:37.02(470.41)

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЭТНОКУЛЬТУРНЫЙ КОНТЕКСТ В ОБРАЗОВАНИИ

Козлов В.П., к.ист.н., доцент кафедры профессионального обучения, педагогики и социологии ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0007-7970-6231

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ETHNOCULTURAL CONTEXT IN EDUCATION

Kozlov V.P., PhD in Historical Sciences, Associate Professor, Department of Professional Education, Pedagogy and Sociology, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0007-7970-6231

Аннотация

Статья посвящена качеству учебных материалов, создаваемых при участии генеративных систем искусственного интеллекта, в образовательной среде полиэтничного региона. Исходное положение установлено эмпирически: большие языковые модели усваивают культурные установки, преобладающие в обучающих корпусах, и воспроизводят их при порождении текста, причём прямое указание на культурный контекст в запросе устраняет смещение лишь частично, а иногда усиливает его. В учебной ситуации такое воспроизведение приобретает нормативный характер, поскольку обучающийся не располагает средствами независимой проверки материала. Цель исследования – обосновать этнокультурную составляющую качества учебного контента как предмет педагогического контроля и предложить процедуру его экспертизы. Работа выполнена методами сравнительного анализа литературы, вторичного анализа опубликованных данных и теоретического моделирования; рассмотрение ведётся применительно к регионам Российской Федерации, где содержание образования включает выраженный национально-региональный компонент, а преподавание идёт в условиях устойчивого двуязычия. Выделены три группы искажений: ошибки термина и факта; деформация картины культуры вследствие упрощения и несбалансированного освещения; асимметрия качества ответов при смене языка запроса. Вторая и третья группы не выявляются проверкой на фактическую ошибку и не устраняются на уровне отдельного запроса, что требует организационного решения. Предложена трёхуровневая процедура педагогической экспертизы, соотносящая глубину проверки с масштабом тиражирования материала и распределяющая ответственность между преподавателем, кафедрой и междисциплинарным экспертным советом. Отмечена ограниченность вступающего в силу рамочного регулирования, которое адресовано разработчику модели, а не качеству учебного материала. Практическая значимость работы – в применимости предложенной процедуры в рамках действующего порядка утверждения

учебно-методических материалов. Отмечено также, что в регионах, развивающих языковые технологии самостоятельно, результаты экспертизы могут возвращаться в подготовку обучающих корпусов. Исследование носит концептуальный характер, и параметры необходимой эмпирической проверки, включая состав стандартизованных запросов и рубрику экспертной оценки, сформулированы в выводах.

Ключевые слова: искусственный интеллект, этнокультурный контекст, учебный контент, большие языковые модели, культурное смещение, педагогическая экспертиза, национально-региональный компонент, двуязычие, полиэтничный регион, языки народов России

Abstract

The article is devoted to the quality of educational materials created with the participation of generative artificial intelligence systems in the educational environment of a multi-ethnic region. The initial premise is established empirically: large language models assimilate the cultural attitudes prevailing in their training corpora and reproduce them when generating text, while an explicit indication of cultural context in the prompt removes the bias only partially and sometimes intensifies it. In a teaching situation such reproduction acquires a normative character, since the learner does not have the means for independent verification of the material. The purpose of the study is to substantiate the ethnocultural component of the quality of educational content as a subject of pedagogical control and to propose a procedure its expert assessment. The work was carried out using methods of comparative literature analysis, secondary analysis of published empirical data and theoretical modelling; the examination is conducted in relation to the regions of the Russian Federation where the content of education includes a pronounced national and regional component and teaching takes place under conditions of sustained bilingualism. Three groups of distortions are identified: errors of term and fact; deformation of the overall picture of a culture through simplification and unbalanced coverage; asymmetry in the quality of responses when the language of the prompt is changed. The second and third groups are not detected by checking for factual error and are not eliminated at the level of an individual prompt, which requires an organizational solution. A three-level procedure of pedagogical examination is proposed, correlating the depth of verification with the scale of distribution of the material and distributing responsibility among the lecturer, the department and an interdisciplinary expert council. The limitations of the framework regulation coming into force, which is addressed to the developer of the model rather than to the quality of the educational material, are noted. The practical significance of the work lies in the applicability of the proposed procedure within the framework of the current procedure for approving educational and methodological materials. It is also noted that in regions developing language technologies independently, the results of the expert assessment can be returned to the preparation of training corpora. The study is conceptual in nature, and the parameters of the necessary empirical verification, including the composition of standardized prompts and the rubric of expert evaluation, are formulated in the conclusions.

Keywords: artificial intelligence, ethnocultural context, educational content, large language models, cultural bias, pedagogical examination, national and regional component, bilingualism, multi-ethnic region, languages of Russia

Введение

Генеративные языковые модели вошли в практику преподавателя раньше, чем сложились правила их применения. Конспект лекции, контрольные задания, упрощённое изложение сложного раздела нередко готовятся сегодня с участием нейросети – без согласования на кафедре и без проверки результата. Расширение инструментария само по себе не ново, но есть отличие: поисковая система отсылала к источнику, который можно открыть и оценить, языковая же модель источника не предъявляет. Она порождает связный текст, убедительность которого не связана с достоверностью.

В культурно однородной среде проблема сводится к фактической точности. В регионах с выраженным национально-региональным компонентом добавляется ещё одно измерение. История, обществознание, литература, культурология обращаются к этнонимам, конфессиональной терминологии, оценкам событий, воспринимаемым разными группами неодинаково. Ошибка модели здесь не нейтральна: попадая в учебный материал, она тиражируется и приобретает нормативный статус.

Количественные оценки культурного смещения языковых моделей получены к середине 2020-х гг. Y. Tao и соавторы сопоставили ответы пяти распространённых моделей с данными национальных опросов и зафиксировали тяготение к ценностным установкам англоязычных обществ; при этом культурный промптинг, то есть указание в запросе на страну и культурный контекст, для 19–29% стран и территорий не улучшил согласованность либо усилил смещение [1]. Для отдельных культурных ареалов разработаны измерительные ресурсы: T. Naous с соавторами предложили набор CAMeL из 628 запросов и свыше двадцати тысяч сущностей, противопоставляющий арабский и западный контексты [2]. Появились и российские измерения. Е. Г. Тихомирова и Р. В. Душкин по итогам годичного наблюдения за отечественной генеративной моделью, основанного на разборе 363 изображений по двадцати параметрам, выявили асимметрию двойного рода: воспроизводится не только западное вместо российского, но и само российское сводится к усреднённому образу, а региональное многообразие теряется из-за отсутствия данных в корпусе [3].

Педагогического приложения эти результаты практически не получили: вопрос о том, кто и на каких основаниях проверяет сгенерированный учебный материал, в литературе не разработан.

Между тем правовой контур в России оформился. Федеральный закон от 26 июля 2026 г. № 243-ФЗ «О поддержке развития технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации», вступающий в силу с 1 сентября 2026 г., впервые закрепляет понятия искусственного интеллекта и большой фундаментальной модели, вводит категории суверенных и национальных моделей и требования к локализации обработки данных. Регулирование адресовано, однако, разработчику. Качество конкретного учебного материала остаётся вне рамок закона, в зоне ответственности образовательной организации.

К смежной проблематике автор обращался ранее: к возможностям цифровой среды для межконфессионального взаимодействия [4] и к адаптации искусственного интеллекта в религиозном образовании [5]. Здесь тот же вопрос рассматривается применительно к общему и профессиональному образованию, где масштаб использования генеративных инструментов больше, а институциональный контроль слабее.

Цель работы – обосновать этнокультурную составляющую качества учебного контента как самостоятельный предмет педагогического контроля и предложить процедуру его экспертизы. Задачи: раскрыть природу культурного смещения применительно к учебному тексту; охарактеризовать образовательную среду полиэтничного региона как условие, в котором смещение проявляется отчётливее всего; выделить типы искажений; наметить процедуру экспертизы.

Объект исследования – применение генеративных систем искусственного интеллекта в образовательном процессе, предмет – этнокультурная составляющая качества создаваемого ими учебного контента.

Методика

Исследование выполнено в междисциплинарной рамке, объединяющей педагогику профессионального образования, социологию образования и регионоведение. Использованы сравнительный анализ литературы, вторичный анализ опубликованных данных, теоретическое моделирование.

Источниковую базу составили рецензируемые публикации с измерениями культурного смещения языковых моделей и цифровой представленности языков народов России, ранее опубликованные работы автора по цифровизации образования в Татарстане, а также законодательство в сфере искусственного интеллекта. Основной массив привлечённых исследований

относится к 2023–2026 гг.; работы по языковым ресурсам привлекались вне зависимости от года выхода. Географические рамки прикладной части ограничены Республикой Татарстан.

Характер работы требует оговорки. Исследование концептуально, а не эмпирично: типология искажений выведена из литературы и наблюдений за преподавательской практикой, модель экспертизы представляет собой проект, апробации не проходивший. Собственных измерений автор не проводил, поэтому суждения о поведении моделей применительно к содержанию образования Татарстана следует рассматривать как гипотезы. Их проверка требует отдельного исследования на массиве стандартизованных запросов с участием экспертной группы; параметры изложены в выводах.

Основная часть

Учебный текст как продукт машинной генерации

Большие языковые модели не хранят знания в виде отдельных проверяемых утверждений. Они воспроизводят статистические регулярности обучающего корпуса, в том числе относящиеся не к фактам, а к способу их изложения: какие явления упоминаются чаще, какие оценки сопутствуют темам, что подаётся в качестве нормы. Этот слой принято обозначать как культурное смещение.

Для учебного текста это имеет особые последствия. Учебный материал нормативен: он предъявляется обучающемуся как содержание, подлежащее усвоению. Студент первого курса, получивший раздаточный материал, не располагает ни временем, ни источниковой базой для проверки. Механизмы отсева ошибок в науке – рецензирование, ссылочный аппарат, дискуссия – на этом уровне не действуют, и цена ошибки на входе возрастает.

Степень проникновения смещения в текст обучающегося требует отдельного измерения и из свойств модели не выводится. Показательны результаты T. Wambsganss и соавторов: в эксперименте с 231 студентом, писавшим рецензии на деловые кейсы при разных режимах поддержки, значимых различий между группами по метрикам гендерного смещения нет [6]. Отсюда следует не отсутствие проблемы, а опосредованность переноса учебной ситуацией.

Смещение не сводится к ложным утверждениям: оно проявляется в отборе примеров, распределении ролей между участниками описываемых ситуаций, оценочных оттенках. Каждое предложение может быть верным, тогда как складывающаяся картина оказывается искажённой. Для дисциплин, формирующих представление об обществе и его истории, эта картина и составляет образовательный результат.

Образовательная среда полиэтничного региона

В республиках России с двумя государственными языками положение осложняется по нескольким основаниям. В Татарстане сохраняется устойчивое двуязычие, татарский язык присутствует в образовании и как язык обучения, и как предмет изучения. Региональный компонент гуманитарных дисциплин значителен: Волжская Булгария, Казанское ханство, вхождение края в состав Русского государства, конфессиональная история. За каждой темой стоит традиция с конкурирующими интерпретациями, и каждая при машинной генерации рискует быть сведена к упрощённой схеме.

Конфессиональный состав населения также неоднороден: помимо мусульманской и православной общин представлены католики, старообрядцы, иудеи, лютеране и ряд других. Учебный текст адресован нескольким аудиториям сразу и должен быть корректен к каждой – и это касается не только религиоведения, но и общего курса истории.

Вместе с тем республика входит в число регионов, самостоятельно развивающих языковые технологии. Казанская школа компьютерной лингвистики работает над ресурсами для татарского языка не первое десятилетие: А. М. Галиева, А. В. Кириллович, Н. В. Лукашевич и соавторы опубликовали русско-татарский общественно-политический тезаурус в облаке лингвистических открытых связанных данных [7]. С 2024 г. линия продолжена созданием корпусов и моделей, что автор рассматривал применительно к религиозному образованию [5]. Регион выступает, таким образом, и разработчиком, и потребителем технологии, а значит, способен влиять на её качество. Отмеченное выше вымывание регионального многообразия

из обучающих данных [3] становится здесь практической задачей пополнения корпусов, для решения которой закон № 243-ФЗ даёт инструмент: разработчикам суверенных и национальных моделей открывается доступ к данным федеральных и региональных информационных систем в порядке, определяемом Правительством.

Характер возможных искажений

Наименее сложны для выявления искажения термина и факта. Этнонимы, конфессиональная лексика, историческая топонимика требуют точности, которая выдерживается не всегда: смешиваются «татары» и «булгары», конфессиональная принадлежность подменяется этнической, названия даются в устаревшей форме. Сюда же фактические неточности, обладающие особенностью, которой лишена ошибка в пособии: недостоверное сведение излагается в той же уверенной интонации, что и достоверное, и сопровождается правдоподобной деталью – датой, именем, ссылкой на несуществующую работу. Чем слабее региональный материал представлен в корпусах, тем такая генерация вероятнее. Искажения этой группы видны при сверке с источником и потому наименее опасны.

Труднее выявляется деформация целостной картины: сложное культурное явление сводится к набору узнаваемых признаков – костюм, кухня, праздник. Перечисление не ложно, однако, составляя всё содержание учебного фрагмента, формирует поверхностное представление о культуре, а при повторении закрепляет стереотип. Сюда же несбалансированность в освещении конфессиональной тематики: одной традиции уделяется больше внимания, чем другой, либо модель уклоняется от ответа там, где требуется нейтральное изложение. Избыточная осторожность не менее вредна, чем неточность: отказ от объяснения отправляет обучающегося к источникам, качество которых не контролируется. Проверка на фактическую ошибку такую деформацию не выявляет – ложных утверждений может не быть вовсе.

Третью группу образует зависимость качества материала от языка запроса. По обзору Y. Xu и соавторов, для языков с меньшим объёмом цифровых ресурсов разрыв особенно заметен и не устраняется увеличением их доли в обучающей выборке [8]. На языках народов России зависимость измерена непосредственно: М. Л. Новикова и Ф. Н. Новиков, оценивая уровень поддержки языков России и стран СНГ большой языковой моделью, установили, что качество работы с языком прямо пропорционально объёму проиндексированных и корректно распознанных текстов на нём [9]. Смежная трудность возникает при переносе оценочных инструментов между языками: S. Singh и соавторы показали, что в широко используемом многоязычном тестовом наборе 28 % заданий требуют культурно-специфических знаний, а результаты моделей отражают западноцентричные представления, и машинный перевод набор нейтральным не делает [10]. Для образования это означает нарушение принципа равного доступа: студент, работающий на татарском, получает материал иного качества, чем его однокурсник, работающий на русском.

Ни одна из трёх групп не устраняется на уровне отдельного запроса: более точная формулировка задания снижает вероятность ошибки, но гарантии не даёт и, как показывают измерения, иногда действует в обратную сторону [1]. Проверить результат может только специалист.

Распределение ответственности за проверку

Решение, следовательно, должно быть организационным, а в его основу целесообразно положить соответствие между масштабом тиражирования материала и глубиной проверки: чем шире аудитория, тем формализованнее процедура.

Ответственность за материал, предъявляемый аудитории, остаётся на преподавателе независимо от способа подготовки. Практически это сверка фактических утверждений и внимание к тому, чего в тексте нет: какие точки зрения не представлены, какие группы не упомянуты, по какому основанию отобраны примеры. Второй навык сам собой не формируется, и развивать его лучше отдельным модулем в программах повышения квалификации.

Материалы, выходящие за пределы одного занятия – методические указания, банки заданий, электронные курсы, – проходят обычное утверждение на кафедре, дополненное указа-

нием на использование генеративных инструментов. Санкции в этом нет: указание сообщает, что текст требует иной проверки.

Для чувствительной проблематики и спорных случаев необходим междисциплинарный экспертный совет вуза или их объединения. Состав определяется задачей: предметники, специалист по региональной истории или этнологии, при необходимости представители общин. Опыт подобных структур в религиозном образовании республики накоплен и переносим в светское [5]. Сплошного контроля схема не предполагает – при нынешних масштабах он неосуществим.

Выводы

Этнокультурный контекст, в котором работает образовательная организация, оказывается значимым фактором качества учебного контента, создаваемого генеративными системами. Проблема не сводится к фактической точности и не решается техническими средствами: культурный промптинг, с которым связываются основные ожидания, для значительной доли контекстов неэффективен.

Нормативный статус учебного текста повышает цену ошибки на входе, и функцию отсева принимает на себя преподаватель: ни обучающийся, ни учебная ситуация необходимыми средствами не располагают.

Искажения располагаются на трёх уровнях. Терминологические и фактические снимаются сверкой с источником. Упрощение и несбалансированность при сверке остаются невыявленными и требуют от проверяющего предметной квалификации. Языковая асимметрия действует на уровне доступа к качественному материалу и усилиями отдельного вуза не устраняется.

Предложенная процедура соотносит объём проверки с масштабом распространения материала и потому не требует сплошного контроля.

В регионах, участвующих в разработке языковых технологий, у экспертизы появляется адресат: выявленные пробелы могут передаваться составителям корпусов, тем более что доступ разработчиков суверенных и национальных моделей к региональным информационным системам предусмотрен законом.

Практическая значимость работы в том, что процедура применима в рамках действующего порядка утверждения учебных материалов и не требует затрат. Дальнейшее исследование предполагает проверку типологии на массиве стандартизованных запросов по темам регионального компонента на русском и татарском языках с оценкой ответов экспертной группой по фиксированной рубрике. Это позволит перейти от гипотез к количественным оценкам и сопоставить результаты с измерениями по другим языкам народов России.

Список литературы

1. Cultural bias and cultural alignment of large language models / Y. Tao, O. Viberg, R. S. Baker, R. F. Kizilcec // PNAS Nexus. – 2024. – Vol. 3, iss. 9. – Article pgae346. – DOI: 10.1093/pnasnexus/pgae346.

2. Having beer after prayer? Measuring cultural bias in large language models / T. Naous, M. J. Ryan, A. Ritter, W. Xu // Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). – Bangkok : Association for Computational Linguistics, 2024. – P. 16366–16393. – DOI: 10.18653/v1/2024.acl-long.862.

3. Тихомирова, Е. Г. Культурная асимметрия генеративного ИИ: календарные паттерны и визуальные репрезентации российской модели / Е. Г. Тихомирова, Р. В. Душкин // Patria. – 2026. – Т. 3, № 2. – С. 164–181. – DOI: 10.17323/patria.2026.34172.

4. Козлов, В. П. Цифровая трансформация в образовании: новые возможности для межрелигиозного диалога / В. П. Козлов // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2024: сборник материалов. – Казань, 2024. – С. 1068–1073.

5. Козлов, В. П. Применение искусственного интеллекта в системе исламского образования: опыт Республики Татарстан / В. П. Козлов // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2025: сборник материалов. – Казань, 2025. – С. 1483–1487.

6. Unraveling downstream gender bias from large language models: a study on AI educational writing assistance / T. Wambsganss, X. Su, V. Swamy [et al.] // Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2023. – Singapore : Association for Computational Linguistics, 2023. – P. 10275–10288.

7. Русско-татарский общественно-политический тезаурус: публикация в облаке лингвистических открытых связанных данных / А. М. Галиева, А. В. Кириллович, Н. В. Лукашевич [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Vol. 5, № 11. – P. 64–73.

8. A survey on multilingual large language models: corpora, alignment, and bias / Y. Xu, L. Hu, J. Zhao [et al.] // Frontiers of Computer Science. – 2025. – Vol. 19, iss. 11. – Article 1911362. – DOI: 10.1007/s11704-024-40579-4.

9. Новикова, М. Л. Использование искусственного интеллекта для создания системы машинного перевода и образовательных ресурсов на тувинском языке / М. Л. Новикова, Ф. Н. Новиков // Новые исследования Тувы. – 2024. – № 1. – С. 6–17. – DOI: 10.25178/nit.2024.1.1.

10. Global MMLU: understanding and addressing cultural and linguistic biases in multilingual evaluation / S. Singh, A. Romanou, C. Fourrier [et al.] // Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). – Vienna : Association for Computational Linguistics, 2025. – P. 18761–18799.

УДК 378.147:611.018:636

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПРЕПОДАВАНИЮ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ВЕТЕРИНАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Константинова И.С., к.б.н., доцент кафедры анатомии, патанатомии и гистологии;
ORCID: 0000-0003-4541-9692;
Низамова Г.М., к.б.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-5718-3050;
Панина Е.Н., к.б.н., доцент;
ORCID: 0009-0000-0158-2928;
Овсянников А.П., к.б.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-3563-1219;
Бозова Г.Б., ассистент ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1740-981X

INNOVATIVE APPROACH TO TEACHING MORPHOLOGICAL DISCIPLINES IN THE CONTEXT OF DIGITALISATION OF VETERINARY EDUCATION

Konstantinova I.S., PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Anatomy, Pathological Anatomy and Histology;
ORCID: 0000-0003-4541-9692;
Nizamova G.M., PhD in Biological Sciences, Associate Professor at Kazan State Agrarian University
ORCID: 0000-0002-5718-3050;
Panina E.N., PhD in Biological Sciences, Associate Professor at Kazan State Agrarian University
ORCID: 0009-0000-0158-2928;
Ovsyannikov A.P., PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Kazan State Agrarian University;
Bozova G.B., Assistant at Kazan State Agrarian University
ORCID 0000-0002-1740-981X

Аннотация

Традиционная методика преподавания морфологических дисциплин, основанная преимущественно на работе со световыми микроскопами и зарисовке препаратов, недостаточно учитывает запросы современного цифрового поколения и требования отрасли, где всё шире используются автоматизированные системы анализа. На кафедре анатомии и гистологии института «Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана» ФГБОУ ВО Казанского ГАУ проводится разработка и теоретическое обоснование инновационного подхода к преподаванию дисциплины «Цитология, гистология и эмбриология» для студентов первого и второго курсов, обучающихся по специальности 36.05.01 «Ветеринария» и направления подготовки 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза». Современный подход к изучению дисциплины «Цитология, гистология и эмбриология» предполагает оснащение аудиторий микроскопами с возможностью подключения к единой сети и вывода изображения с микроскопа каждого студента на интерактивную доску. Предлагаемый подход позволяет организовать коллективный анализ гистологических препаратов, сравнение морфологических структур, формирование навыков работы с цифровыми комплексами (сохранение микрофотографий, их обработка, использование облачных сервисов и статистических программ). В тоже время студенты уже с первого курса приобретают необходимые навыки работы с цифровыми комплексами, получают представление о возможностях внедрения цифровых технологий в животноводство. На основе анализа российского и зарубежного опыта (Башкирский ГАУ, Красноярский медицинский университет, Витебская академия ветеринарной медицины) выявлены преимущества гибридных методик, сочетающих классическую микроскопию с цифровой визуализацией. Ожидаемыми результатами являются повышение эффективности формирования профессиональных компетенций, развитие у студентов цифровой грамотности, а также создание методических указаний для внедрения цифровых комплексов в учебный процесс. Методика использования цифровых комплексов даст возможность преподавателям морфологических дисциплин, методистам и руководителям ветеринарных образовательных организаций эффективно использовать современные технологии для подготовки высококвалифицированных специалистов.

Ключевые слова: цифровизация образования, морфологические дисциплины, цитология, гистология, эмбриология, ветеринария, инновационные методы обучения, цифровые комплексы, микроскопия, интерактивная доска

Abstract

The traditional methodology of teaching morphological disciplines, based mainly on working with light microscopes and drawing preparations, does not sufficiently take into account the demands of the modern digital generation and the requirements of the industry, where automated analysis systems are increasingly used. The Department of Anatomy and Histology of the Institute "Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman" of the Kazan State Agrarian University is developing and theoretically substantiating an innovative approach to teaching the discipline «Cytology, Histology and Embryology» for first- and second-year students studying in the specialty 36.05.01 «Veterinary Medicine» and the training area 36.03.01 «Veterinary and sanitary examination». The modern approach to studying the discipline «Cytology, Histology, and Embryology» involves equipping classrooms with microscopes with the possibility of connecting to a single network and displaing images from each student's microscope on an interactive whiteboard. The proposed approach makes it possible to organize collective analysis of histological specimens, comparison of morphological structures, and the development of skills in working with digital complexes (saving micrographs, processing them, and using cloud services and statistical programs). At the same time, students acquire the necessary skills in working with digital complexes already from the first year of study, and gain an understanding of the possibilities of introducing digital technologies into animal husbandry. Based on the analysis of

Russian and foreign experience (Bashkir State Agrarian University, Krasnoyarsk Medical University, and Vitebsk Academy of Veterinary Medicine), the advantages of hybrid methodologies combining classical microscopy with digital visualization have been identified. The expected results are an increase the effectiveness of the formation of professional competencies, the development of digital literacy among students, as well as the creation of methodological guidelines for the introduction of digital complexes into the educational process. The methodology for using digital complexes will enable teachers of morphological disciplines, methodologists, and heads of veterinary educational organizations to effectively use modern technologies for training highly qualified specialists.

Keywords: digitalization of education, morphological disciplines, cytology, histology, embryology, veterinary medicine, innovative teaching methods, digital complexes, microscopy, interactive whiteboard

В последние годы цифровые технологии активно проникают во все сферы сельского хозяйства, включая животноводство. Автоматизация процессов, использование систем компьютерного зрения для оценки состояния животных, цифровая обработка результатов лабораторных анализов – всё это требует от ветеринарного врача не только классических знаний, но и компетенций в области работы с программным обеспечением, цифровыми комплексами и облачными сервисами. В связи с этим подготовка высококвалифицированных специалистов, способных эффективно работать в цифровой среде, становится приоритетной задачей аграрных вузов.

Институт «Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана», входящий в состав ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», ведёт подготовку студентов по специальности 36.05.01 «Ветеринария», по направлению подготовки 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза». Одной из базовых дисциплин, формирующих фундаментальные морфологические знания, является «Цитология, гистология и эмбриология животных». Данная дисциплина даёт студентам понимание закономерности строения и развития организма на клеточном и тканевом уровнях, а для получения этих знаний необходимо владение современной микроскопической техникой и цифровыми средствами анализа.

Однако существующая материально-техническая база не всегда отвечает современным требованиям. Многие аудитории оснащены только световыми микроскопами и телевизорами для демонстрации схем и гистограмм. При этом современные студенты («цифровое поколение») привыкли к интерактивности, визуализации и обратной связи. Традиционные методы (работа с препаратом под микроскопом и последующая зарисовка) остаются важными, но нуждаются в дополнении цифровыми инструментами, которые позволят сделать обучение более наглядным, коллективным и приближенным к реальной профессиональной деятельности.

На кафедре анатомии и гистологии Казанского ГАУ был проведён анализ научно-методической литературы по теме преподавания морфологических дисциплин в вузах России и ближнего зарубежья. Рассматривались публикации за последние годы, индексируемые в РИНЦ и открытых базах данных. Изучался опыт использования цифровых комплексов (микроскоп + компьютер + сетевое программное обеспечение) в медицинских и ветеринарных образовательных учреждениях. Также проводилось сопоставление традиционных и инновационных методов обучения с точки зрения их влияния на формирование компетенций, предусмотренных ФГОС ВО по специальности по специальности 36.05.01 «Ветеринария», по направлению подготовки 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза».

На основе анализа были сформулированы требования к оптимальному цифровому оснащению студенческой аудитории. Микроскопы каждого рабочего места в аудитории должны быть подключены к единой локальной сети с возможностью трансляции изображения на интерактивную доску преподавателя; наличие программного обеспечения для захвата, первичной обработки, сравнения и сохранения микрофотографий; доступ к облачным хранилищам

и статистическим пакетам. Дополнительно разрабатывался проект методических указаний для преподавателей по интеграции цифровых комплексов в структуру практических занятий.

Традиционная методика преподавания гистологических дисциплин в российских вузах основана на заучивании с элементами зарисовки препаратов под контролем преподавателя, который с помощью указки, прикреплённой к окуляру, индивидуально проверяет каждого студента [1]. Такой подход имеет свои достоинства: он развивает внимательность, моторику и навык идентификации структур. Однако он малоэффективен в больших группах, не позволяет студентам сравнивать между собой разные варианты гистологической картины и не формирует навыки работы с цифровыми инструментами, которые необходимы современному ветеринарному врачу.

В Красноярском государственном медицинском университете им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого практикуется использование бинокулярных микроскопов с видеокамерами, интерактивных занятий в формате пресс-конференций и деловых игр. При этом сочетание классической микроскопии с цифровой демонстрацией повышает усвоение материала на 30–40% [2]. В Башкирском государственном аграрном университете успешно применяется интерактивная доска для коллективного разбора сложных тем [3]. В Витебской академии ветеринарной медицины используются оцифрованные гистологические препараты, что позволяет студентам многократно возвращаться к материалу во внеаудиторное время [4].

Тем не менее, ни в одном из проанализированных источников не описано системное решение, при котором изображение с каждого студенческого микроскопа могло бы быть выведено на общий экран для одновременного сравнения. Обычно либо используется один демонстрационный микроскоп преподавателя, либо оцифровываются препараты заранее.

На кафедре анатомии и гистологии ФГБОУ ВО Казанский ГАУ цифровой микроскоп необходим для проведения научных исследований [5-8]. Во время проведения лабораторных занятий со студентами цифровой комплекс активно используется для выведения изображения гистологического препарата на экран интерактивной доски. При этом один из студентов группы получает задание по поиску определённой морфологической структуры на гистологическом препарате, а студенты группы контролируют правильность нахождения структуры и активно помогают товарищу в выполнении задания. Этот приём можно использовать и для контроля преподавателем знаний студентов морфологических структур органов.

Это особенно важно при изучении вариабельности клеток, например, при изучении темы «Нервная ткань» возможно сравнение морфологических особенностей мультиполярных нейронов спинного мозга на нескольких гистологических препаратах. Данный комплекс можно использовать и при поиске морфологических структур, например, при изучении той же темы на гистологическом препарате «Миелиновые нервные волокна» студенты с увлечением совместно находят узловые перехваты, двигаясь по гистологическому препарату, изображение с которого передаётся на экран интерактивной доски.

При рассмотрении сложных для понимания тем, связанных с рассмотрением тканей при отсутствии на данном этапе у студентов знаний о строении органа, например, при изучении ретикулярной ткани в лимфатическом узле кошки преподаватель последовательно настраивает микроскоп на разное увеличение и указывает места на гистологическом препарате, где необходимо найти структуры. При этом студенты следят за действиями преподавателя по экрану интерактивной доски и находят аналогичные структуры на своём гистологическом препарате. Использование возможностей интерактивной доски позволяет соотнести изображение тканей и органов на таблице и на гистологическом препарате, обозначив при этом структуры непосредственно на гистограмме (рис. 1).

Предлагаемый нами подход идёт дальше: цифровой комплекс позволяет в реальном времени организовать обсуждение морфологических особенностей, наблюдаемых разными студентами на разных препаратах.

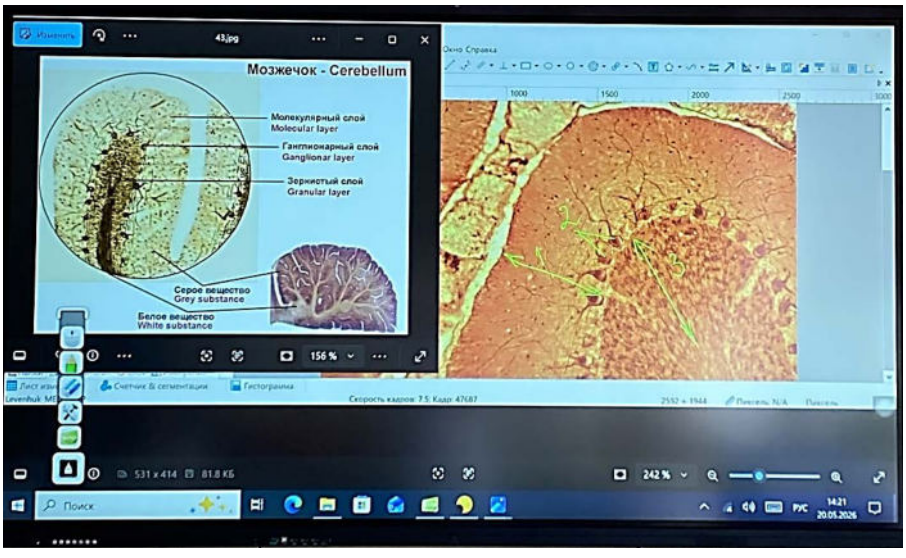


Рис. 1. Одновременное выведение на экран интерактивной доски таблицы и изображения с гистологического препарата

На современном этапе для дисциплины «Цитология, гистология и эмбриология животных» предлагаем обязательное оснащение каждой аудитории сетевыми микроскопами с выводом изображения на интерактивную доску. Это обеспечит проведение лабораторных занятий, где студенты не только изучают свой гистологический препарат, но и участвуют в коллективном анализе изображений с каждого гистологического препарата. Вводится элемент взаимопроверки: студенты могут оценить правильность нахождения структур и интерпретации препарата соседом по парте через общий экран.

Постепенно можно вводить формирование у студентов цифровых компетенций: сохранение микрофотографий, их обработка в графических редакторах, статистический анализ морфометрических данных с использованием онлайн-сервисов. Одновременно создаётся основа для дистанционной и смешанной форм обучения, т.к. фотографии клеток, тканей и органов с гистологических препаратов с комментариями преподавателя могут быть сохранены в облаке и доступны для повторения.

Цифровизация ветеринарного образования в настоящее время является объективной необходимостью, обусловленной внедрением цифровых технологий в животноводство и диагностику. Традиционная методика преподавания дисциплины «Цитология, гистология и эмбриология» для студентов по специальности 36.05.01 «Ветеринария» и по направлению подготовки 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза» сохраняет свою ценность, но требует дополнения современными цифровыми инструментами для формирования профессиональных компетенций в области работы с программным обеспечением, цифровыми изображениями и облачными сервисами. Предлагаемый инновационный подход на основе сетевых микроскопов и интерактивной доски позволяет организовать коллективный анализ гистологических препаратов, повысить наглядность и вовлечённость студентов, а также заложить основы цифровой грамотности уже на первых курсах обучения, что в дальнейшем будет являться основой изучения смежных дисциплин, осваиваемых на старших курсах.

Список литературы

1. Шарипова, Д. Ю. К методикам преподавания дисциплины «Цитология, гистология, эмбриология» на ветеринарном факультете / Д. Ю. Шарипова, М. Х. Баймишев // Аграрное образование в условиях модернизации и инновационного развития АПК России : материалы III Всероссийской (национальной) научно-методической конференции. – Улан-Удэ : Бурятская ГСХА, 2022. – С. 456–461.

2. Медведева, Н. Н. Инновации преподавания дисциплины «Гистология, эмбриология, цитология» в Красноярском государственном медицинском университете имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого / Н. Н. Медведева, Т. Н. Чекишева, Е. А. Хапилина, Е. Л. Жуков // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2018. – № 6. – С. 277–281.

3. Сковородин, Е. Н. Совершенствование подготовки обучающихся специальности ветеринария по морфологическим дисциплинам / Е. Н. Сковородин, С. М. Шакирова, Р. Ф. Ганиева // Совершенствование основных профессиональных образовательных программ в вузе: проблемы и возможные пути их решения. – Уфа : Башкирский ГАУ, 2018. – С. 463–468.

4. Голубев, Д. С. Применение современных инновационных технологий в процессе изучения дисциплины «Гистология с основами эмбриологии» в учреждении образования «Витебская ордена “Знак почёта” государственная академия ветеринарной медицины» / Д. С. Голубев, Д. Ф. Карелин, Л. Л. Степанова // Веснік Віцебскага дзяржаўнага універсітэта. – 2019. – № 3 (104). – С. 54–59.

5. The effect of polioxidonium and dimephosphone in small doses on the morphology of the fixed digestive glands of rats / M. R. Bektemirova, V. I. Usenko, O. T. Mullakaev [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2019. – Vol. 10, № 1. – P. 1788-1792.

6. Morphological parameters of blood of calves with cryptosporidiosis after applying different treatment regimens / O. T. Mullakaev, I. N. Zalyalov, E. G. Kirillov [et al.] // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019), Kazan, 13–14 ноября 2019 года. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. – P. 00031.

7. Structural pathology of the endocrine organs of calves with cryptosporidiosis / I. Zalyalov, O. Mullakaev, E. Kirillov, E. Zaikina // BIO Web of Conferences. – 2020. – Vol. 27. – P. 00081.

8. Structural Changes of Organs and Tissues in Calves during Parainfluenza / A. K. Galiullin, I. N. Zalyalov, O. T. Mullakaev [et al.] // Linguistica Antverpiensia. – 2021. – Vol. 2021, № 2. – P. 1259-1267.

УДК 001.891:004.9

МНОГОИСТОЧНИКОВЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СБОР ПУБЛИКАЦИЙ: АРХИТЕКТУРА, РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ И ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ

Котилевец И.Д., к.т.н., старший преподаватель кафедры КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных»;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com;
Ахушков А.З., студент Института кибербезопасности и цифровых технологий, кафедра КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных», МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия

MULTI-SOURCE AUTOMATED PUBLICATION RETRIEVAL FOR A SYSTEMATIC REVIEW: ARCHITECTURE, PERFORMANCE AND LIMITS OF APPLICABILITY

Kotilevets I.D., Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, Department KB-14 «Digital Data Processing Technologies»;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com;
Akhushkov A.Z., Student, Institute of Cybersecurity and Digital Technologies, Department KB-14 «Digital Data Processing Technologies», MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), 78 Vernadsky Avenue, Moscow, Russia

Аннотация

Проведение систематического обзора требует исчерпывающего охвата литературы, однако рост числа публикаций делает традиционный ручной поиск нереализуемым. Автоматизация поискового этапа наталкивается на гетерогенность библиографических программных интерфейсов: они принципиально разнятся синтаксисом, семантикой интерпретации запросов и лимитами постраничной выдачи. Описан многоисточниковый программный конвейер автоматизированного сбора и первичного скрининга публикаций, опробованный на материале систематического обзора по геймификации высшего образования. Представлены инженерные решения, определяющие полноту извлечения: постраничная навигация с учётом пределов конкретных интерфейсов; обход ограничений глубины выдачи разбиением диапазона на непересекающиеся годовые срезы; дифференциация источников фильтрующего, ранжирующего и конъюнктивного типов; двухнаправленный сноуболлинг по цитатному графу. Разработан метод упреждающей верификации поисковой строки на контрольном субкорпусе средствами самих библиографических баз, позволяющий калибровать запрос до полномасштабного сбора. За 10,1 часа непрерывного машинного времени конвейер агрегировал 31 711 записей из семи независимых источников; этап дедупликации сократил массив до 25 073 уникальных работ, а первичный отбор отсеял нерелевантные позиции, удерживая 2 872 потенциальных кандидата. Полнота сбора относительно контрольной выборки из 45 публикаций, сформированной экспертом вручную, достигла 34 работ (76%). Доказана высокая ортогональность используемых баз: 97,8% записей с валидным цифровым идентификатором объекта (digital object identifier, DOI) встречаются строго в одном источнике, а отключение любого из четырёх ключевых источников ведёт к потере от 2 до 8 работ контрольной выборки. Хронометраж показал, что автоматизация превосходит человека по скорости, однако 16 из 21 источника, найденных экспертом вручную, включая институциональные репозитории и «серую литературу», не индексируются академическими базами, что очерчивает границы применимости машинного сбора. Полученные количественные оценки применимы при проектировании поисковой стратегии систематических обзоров в технических областях знания и при обосновании состава привлекаемых источников.

Ключевые слова: систематический обзор, автоматизация научного поиска, искусственный интеллект в образовании, цифровые образовательные ресурсы, библиографические базы данных, полнота поиска, сноуболлинг, скрининг публикаций, дедупликация, воспроизводимость

Abstract

Conducting a systematic review mandates exhaustive literature retrieval, yet modern publication volumes make manual searching practically unviable. Automating search execution remains highly challenging due to bibliographic application programming interfaces (APIs) differing fundamentally not only in query syntax, but also in processing semantics and pagination depth constraints. This paper presents a multi-source automated retrieval and primary screening pipeline, evaluated empirically on a systematic review dataset in higher education gamification. We detail key architectural patterns that ensure complete recall: page navigation tailored to source API limits, total retrieval depth expansion via non-overlapping annual partitioning, distinction between filtering, ranking, and conjunctive search backends, indirect querying of restricted publishers via CrossRef digital object identifier (DOI) prefixes, and citation graph snowballing. A pre-collection verification method is introduced, checking search strings against control datasets within the databases themselves. Running for 10.1 machine hours, the pipeline fetched 31,711 raw records across seven platforms, retaining 25,073 unique papers after deduplication and isolating 2,872 viable candidates following primary screening. Recall measured against a manual control sample of 45 relevant studies reached 34 publications (76%). Sources exhibited remarkable non-redundancy: 97.8% of DOI-indexed records appeared in only a single database, while

dropping any one of the four primary APIs reduced recall by 2 to 8 control papers. Time-tracking against manual searching revealed that while automation offers unparalleled throughput, 16 of the 21 literature channels identified by the human reviewer are entirely unindexed by commercial databases, explicitly establishing the operational boundary of automated retrieval. The estimates are applicable to designing search strategies and justifying source composition for systematic reviews in technical domains.

Keywords: systematic review, search automation, artificial intelligence in education, digital educational resources, bibliographic databases, search recall, snowballing, publication screening, deduplication, reproducibility

Введение

Главный методологический императив систематического обзора – гарантированная полнота поискового охвата. На практике реализация этого требования сталкивается с серьезными инженерными барьерами: библиографические платформы развернули изолированные программные интерфейсы (application programming interface, API), характеризующиеся разрозненной синтаксической спецификацией, жесткими лимитами на глубинную выборку и разной семантикой вычисления поисковых операторов.

Исследования по автоматизации обзоров сосредоточены на фазе скрининга. Для ранжирования записей привлекаются методы активного и классического машинного обучения [1, 2], внедряются платформы полуавтоматического отбора [3], в последние годы изучается потенциал больших языковых моделей [4–7]. Мета-аналитические оценки при этом сдержанны: большие языковые модели (large language model, LLM) показывают успех на отдельных шагах анализа, требуя осторожной интеграции [7], а прямое сравнение с классическими классификаторами не выявляет устойчивого превосходства [6]. Отдельной проблемой остаётся обоснование критериев остановки скрининга – точки насыщения, после которой отсмотр массива теряет смысл [8].

Стадия сбора освещена в литературе слабее, хотя именно она задаёт потолок полноты: статья, выпавшая из первичной выборки, не попадёт в синтез ни при каком последующем отборе. Предшествующие работы подтверждают, что перекрытие академических библиографических баз далеко от стопроцентного [9], а значимая часть материала находится в «серой литературе», слабо индексируемой коммерческими платформами [10]. Вместе с тем, строгие эмпирические оценки потерь при моноисточниковом поиске, как и систематический анализ архитектурных ограничений программных интерфейсов, до сих пор остаются малоизученной лакуной.

Прикладной контекст работы – доказательная база решений о цифровой образовательной среде: материалом послужил обзор цифровых образовательных ресурсов на основе игровых механик, а инструментом – сквозные технологии искусственного интеллекта, применённые к научному поиску. Работа направлена на разработку и обоснование архитектуры многоисточникового конвейера автоматизированного сбора публикаций, экспериментальную оценку его результативности на массиве реального систематического обзора и верификацию границ его применимости в прямом сравнении с нормативным ручным поиском.

Методика

Объект исследования – архитектура многоисточникового автоматизированного сбора, объединяющая семь каналов: Scopus, CrossRef, OpenAlex, arXiv, КиберЛенинку, модуль косвенного доступа к публикациям IEEE и двухнаправленный сноуболлинг. Сбор реализован изолированными процессами «источник-запрос»: каждый пишет отдельный файл с хешем запроса в имени, что допускает параллельную проверку конфигураций поисковых строк. Дедупликация выполняется по нормализованным DOI и лексическому сходству заголовков. Общая схема работы конвейера приведена на рис. 1. Функциональная структура системы приведена на рис. 2.



Рис. 1. Схема работы конвейера многоисточникового автоматизированного сбора

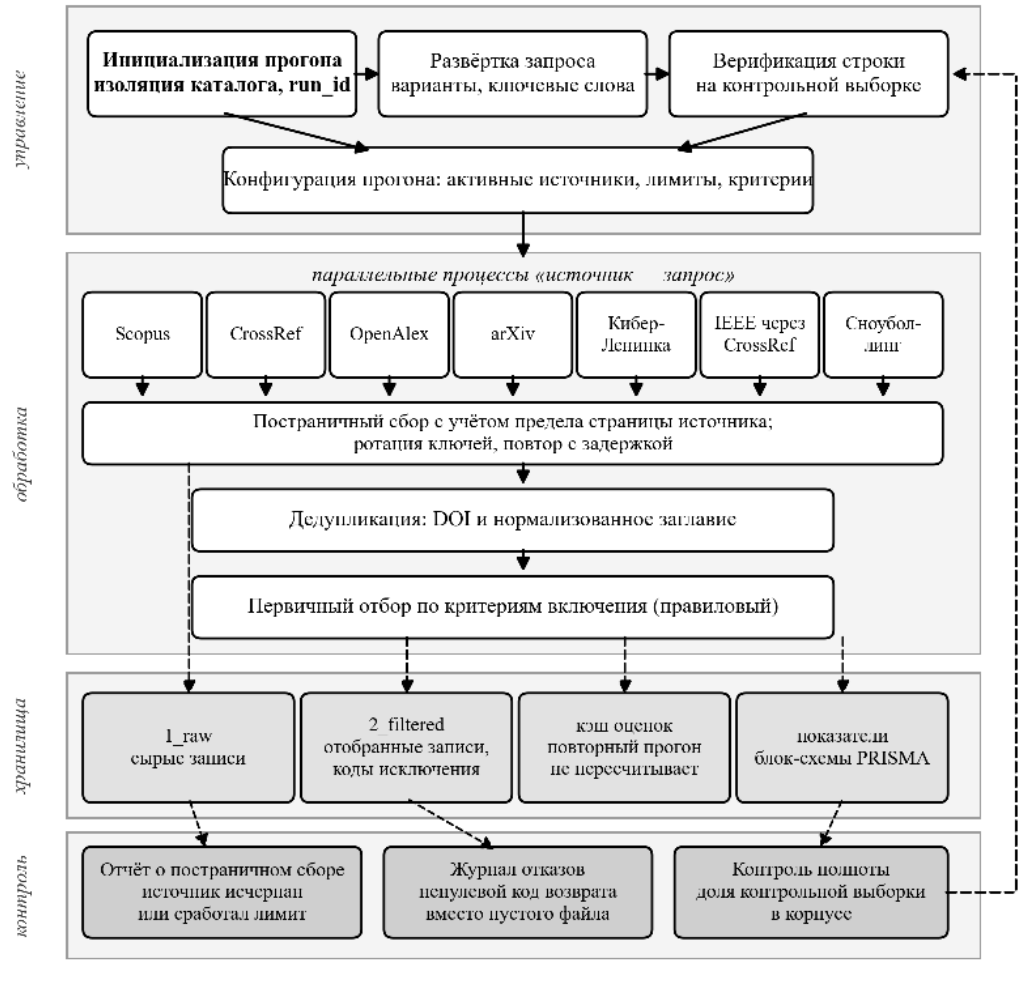


Рис. 2. Функциональная структура системы автоматизированного сбора

Материал исследования – массив публикаций систематического обзора по проблематике «геймификация высшего образования и квантификация учебной мотивации» за период 2015–2026 гг. на русском и английском языках.

Контрольная выборка включает 45 публикаций, отобранных как релевантные независимым исследователем в ходе параллельного ручного отбора по аналогичному тематическому профилю. Доля контрольных работ, извлечённых конвейером, служит эмпирическим критерием полноты. Поминутный хронометраж экспертной таблицы позволил сопоставить трудозатраты человека и машины.

Мера совпадения

Статья считается найденной при совпадении цифрового идентификатора (DOI) либо при превышении порога лексической близости заголовков (симметричный коэффициент Жаккара по значащим лексемам с пороговым значением 0,75). Симметричная мера принципиальна: метрики, нормированные по длине кратчайшей строки, дают ложноположительные срабатывания на коротких названиях.

Конструирование запроса требует учёта семантики целевого интерфейса. Фильтрующие системы (например, Scopus) выполняют булеву селекцию: для них формируется единая строка с дизъюнкциями. Ранжирующие платформы (CrossRef) используют поисковые токены для релевантностной сортировки, а не отсечения, что требует фиксации размера выгружаемого префикса. Конъюнктивные интерфейсы (OpenAlex) считают токены обязательными: запрос из 16 терминов вернул 5 работ, тогда как серия из 10 коротких запросов – 3 205 публикаций.

Интерфейс фильтрующих систем ограничивает глубину выдачи первыми 5 000 позициями, поэтому запрос с 10 267 совпадениями невозможно выгрузить за одно обращение. Реализовано разбиение диапазона на непересекающиеся годовые срезы: объём каждого укладывается в лимит и исчерпывается полностью.

В условиях отсутствия прямого доступа к программному интерфейсу издательства IEEE извлечение данных было организовано через реестр CrossRef посредством фильтрации по специфическому DOI-префиксу издательства. Поскольку реестр CrossRef не содержит аннотаций IEEE, отбор проводился по заглавиям с обогащением метаданных через OpenAlex.

В качестве старта сноуболлинга были задействованы 306 публикаций с наивысшей подтвержденной релевантностью. Обход выполнялся в обоих направлениях: обратном (списки цитируемой литературы) и прямом (цитирующие работы), с ограничением по годам и потолком в 200 цитирований на статью.

Разработан приём упреждающего контроля соответствия запроса предметному полю до запуска трудоемкой выгрузки. Для контрольного массива релевантных статей формируется специализированный валидационный запрос формата «[проверяемая строка] AND (DOI_1 OR DOI_2 OR … OR DOI_N)». База самостоятельно возвращает пересечение, давая оценку полноты запроса за одно обращение.

Основная часть

Объём сбора и вклад источников

За 10,1 часа непрерывной работы машинный конвейер собрал 31 711 первичных записей; после процедуры дедупликации объем итогового массива составил 25 073 уникальных публикации.

Автоматизированный первичный скрининг по критериям включения удержал 2 872 потенциальных кандидата, последовательно исключив 22 201 запись с автоматической фиксацией кода причины отсева. Распределение вклада компонентов приведено в табл. 1.

Из табл. 1 следуют два вывода, важных для проектирования сбора. Во-первых, полнота текстовых метаданных различается кратно: интерфейс Scopus отдает текстовую аннотацию лишь для 31 % релевантных записей, тогда как OpenAlex, КиберЛенинка и arXiv обеспечивают почти стопроцентную полноту (92–100 %). Соотношение объёма сбора и числа отобранных кандидатов по источникам показано на рис. 3.

Таблица 1

Вклад источников в корпус систематического обзора

Источник	Записей	С аннотацией, %	Кандидатов	Доля кандидатов, %
Scopus	9 916	31	1 782	18,0
Сноуболлинг	8 948	78	430	4,8
CrossRef	3 000	27	136	4,5
OpenAlex	1 941	92	239	12,3
КиберЛенинка	995	99	136	13,7
IEEE через CrossRef	190	98	93	48,9
arXiv	83	100	56	67,5
Всего	25 073	55	2 872	11,5

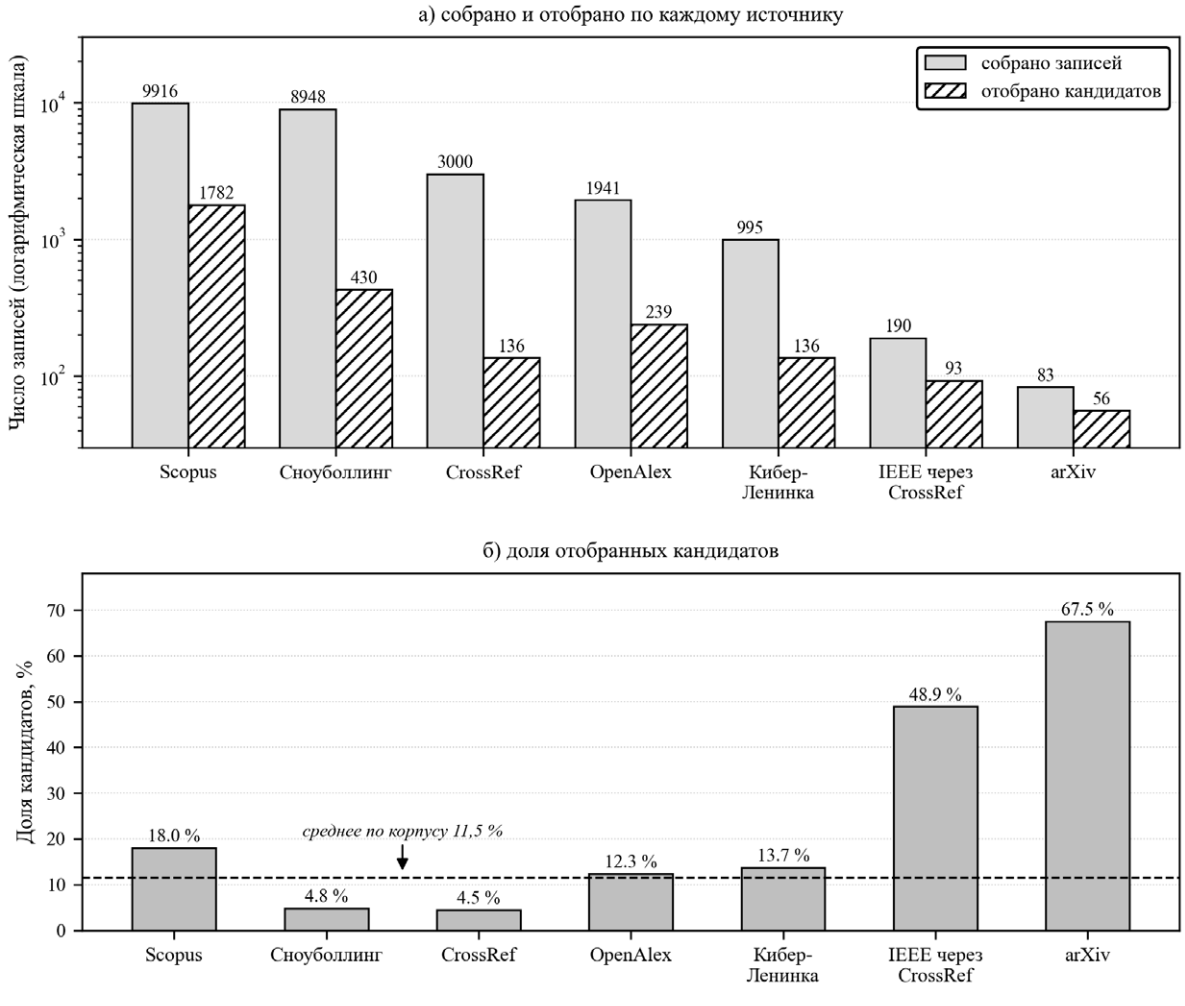


Рис. 3. Вклад источников: а) собрано записей и отобрано кандидатов; б) доля отобранных кандидатов

Источник с неполными метаданными требует отдельной стадии обогащения, иначе его записи смещаются в неопределённую категорию. Во-вторых, высокая доля отбираемых кандидатов не всегда коррелирует с итоговой ценностью источника: к примеру, у arXiv доля кандидатов достигает 67,5% при абсолютном вкладе в 56 работ, в то время как Scopus, демонстрируя меньшую относительную концентрацию (18,0%), генерирует 62% от общего пула кандидатов.

Неизбыточность источников

Из 22 505 записей с валидными цифровыми идентификаторами, собранных до процедуры дедупликации, 97,8% были обнаружены строго в одном источнике, 2,0% – в двух, и лишь 0,1% в трех. Таким образом, пересечение сырых выдач различных академических баз оказывается близким к нулю.

Закономерность подтвердилась и на контрольной выборке (с учетом первоначального присутствия статьи в базе до удаления дублей). Исключение Scopus из поискового конвейера ведет к безвозвратной потере 8 публикаций контрольной выборки, отказ от OpenAlex лишает 5 работ, отключение сноуболлинга – 4 работ, а CrossRef – 2 работ. Лишь 15 из 34 обнаруженных статей (44%) были одновременно найдены несколькими каналами.

Ортогональность показывает, что многоисточниковый сбор – не формальная предосторожность, а строго обязательным условием полноты исследования: ни один монолитный источник не способны заместить остальные. Этот результат эмпирически углубляет известные сведения о неполноте пересечения баз [9], демонстрируя, что расхождение обусловлено не только различием списков индексируемых изданий, но и функциональными особенностями обработки конкретных запросов.

Полнота и вклад сноуболлинга

Полнота сбора относительно контрольной выборки эксперта составила 34 публикации из 45 (76%); при этом стадия первичного отбора удержала 29 из 45 работ. Специальный измерительный прогон показал чистый вклад сноуболлинга: без анализа цитатной сети конвейер находит 31 статью из 45, а добавление сноуболлинга поднимает показатель до 34 работ.

Цитатный сноуболлинг привлёк 8 952 уникальные записи, отсутствовавшие в прямых откликах поисковых запросов к академическим базам (при дублировании 1 519 позиций из 10 601 просмотренных). Это явственно демонстрирует, что массив публикаций, доступный через графовые связи цитирования, практически не пересекается со стандартными поисковыми выдачами по ключевым словам.

Анализ 11 необнаруженных публикаций контрольной выборки показал: 4 работы изначально не имели DOI в экспертном реестре (что делает их автоматический поиск невозможным); 4 работы являлись узкоспециализированными препринтами, выпавшими из-за излишне жестких ограничений запроса; 3 статьи присутствовали в базах, но были упущены из-за терминологического расхождения поисковой строки.

Сопоставление с ручным поиском

Ручной поиск эксперта охватил 95 источников, суммарно потребовав 70,5 часа аналитической работы. Сводные показатели приведены в табл. 2.

Таблица 2

Трудозатраты ручного и автоматизированного поиска

Показатель	Исследователь	Конвейер
Обработано записей	95	25 073
Затраченное время, ч	70,5	10,1
Среднее на запись	45 мин	1,45 с
Медиана на запись	30 мин	–
Производительность, записей/ч	1,35	2 480

Ручное воспроизведение аналогичного объёма выдачи при зафиксированной скорости человека потребовало бы порядка 18 800 часов. Однако прямая экстраполяция не должна трактоваться как безусловное превосходство автомата: эти процессы принципиально неэквивалентны по глубине проработки, поскольку исследователь выполнял полнотекстовый экспертный анализ, тогда как алгоритм проводил скрининг по заголовку и аннотации.

Показателен хронометраж эксперта: решение о включении статьи требовало в среднем 64 минуты, в то время как аргументированное исключение занимало 37 минут. Данная асимметрия вполне закономерна: отсев работы возможен при выявления первого же несоответствия любому из критериев, тогда как подтверждение включения требует детальной верификации всех критериев одновременно. Эта логическая асимметрия заложена в правила автоматического скрининга, где малейшее сомнение алгоритма трактуется в пользу сохранения статьи для полнотекстовой проверки.

Различие кроется не в скорости, а в структурном профиле источников. Эксперт задействовал 21 литературоведческий канал, 16 из которых в принципе не входили в число баз, доступных алгоритмическому конвейеру (репозитории вузов, локальные серверы препринтов, периодика и материалы научных семинаров). Этот вывод согласуется с оценками роли серой литературы [10] и наглядно доказывает, что ручной поиск не просто дополняет машинный сбор, а выполняет автономную задачу, недоступную автоматизации в принципе.

Границы применимости

Всякая диагностика полноты опирается на контрольную экспертную выборку. Именно сопоставление с эталоном позволило обнаружить, что запрос к одному из API был сформулирован излишне узко: при этом сам конвейер рапортовал об успешном и полном исчерпании источника, поскольку выгруженное множество было корректно собрано – но по дефектной поисковой строке. Без внешнего контрольного измерителя такое состояние неотличимо от исчерпывающего поиска. Ограничение фундаментально и не устраняется усложнением кода.

Выводы

1. Многоисточниковый автоматизированный сбор обеспечивает масштаб поискового охвата, заведомо недостижимый при ручной работе: 25 073 уникальные записи извлечены за 10,1 часа машинного времени, тогда как экспертный поиск охватил лишь 95 записей за 70,5 часа.

2. Полноту поискового охвата определяет не абсолютное вычислительное быстродействие, а специфические инженерные решения, учитывающие свойства конкретных API: адаптивная постраничная навигация, квантование временных интервалов для обхода глубинного лимита выдачи, дифференциация фильтрующих, ранжирующих и конъюнктивных источников, а также строгое различение сетевого отказа API и пустой поисковой выдачи.

3. Академические базы практически неизбыточны: 97,8% публикаций с валидным DOI встречаются строго в одном источнике, а отключение любого из четырех базовых API приводит к потере от 2 до 8 релеватных работ контрольной выборки. Многоисточниковая интеграция выступает непеременным условием полноты.

4. Цитатный сноуболлинг представляет собой независимый эффективный канал сбора: он привлек 8 952 дополнительные записи, не попавшие в прямые выдачи поисковых запросов, и обеспечил прирост полноты с 31 до 34 публикаций контрольной выборки (из 45).

5. Автоматизация не замещает исследователя, а рационально перераспределяет предметные роли. 16 из 21 источника, найденного экспертом вручную, вовсе не индексируются академическими базами. Настройка терминологического соответствия поисковых строк, равно как и регулярная диагностика полноты, принципиально требуют участия человека и наличия контрольной экспертной выборки.

Ограничения исследования

Результаты получены на одной предметной области, одном конвейере и одном эксперте; численные значения требуют проверки при переносе на другие дисциплины. Три внешних источника не участвовали в финальном прогоне из-за инфраструктурных ограничений доступа.

Список литературы

1. Ferdinands, G. Performance of active learning models for screening prioritization in systematic reviews: a simulation study into the Average Time to Discover relevant records / G. Ferdinands [и др.] // Systematic Reviews. – 2023. – Vol. 12. – № 1. – DOI: 10.1186/s13643-023-02257-7.

2. Tsou, A. Y. Machine learning for screening prioritization in systematic reviews: comparative performance of Abstrackr and EPPI-Reviewer / A. Y. Tsou, J. R. Treadwell, E. Erinoff, K. Schoelles // Systematic Reviews. – 2020. – Vol. 9. – № 1. – DOI: 10.1186/s13643-020-01324-7.

3. Gates, A. Technology-assisted title and abstract screening for systematic reviews: a retrospective evaluation of the Abstrackr machine learning tool / A. Gates, C. Johnson, L. Hartling // Systematic Reviews. – 2018. – Vol. 7. – № 1. – DOI: 10.1186/s13643-018-0707-8.

4. O'Connor, A. M. Large language models, updates, and evaluation of automation tools for systematic reviews: a summary of significant discussions at the eighth meeting of the International Collaboration for the Automation of Systematic Reviews (ICASR) / A. M. O'Connor [и др.] // Systematic Reviews. – 2024. – Vol. 13. – № 1. – DOI: 10.1186/s13643-024-02666-2.

5. Khraisha, Q. Can large language models replace humans in systematic reviews? Evaluating GPT-4's efficacy in screening and extracting data from peer-reviewed and grey literature in multiple languages / Q. Khraisha [и др.] // Research Synthesis Methods. – 2024. – Vol. 15. – № 4. – P. 616–626. – DOI: 10.1002/jrsm.1715.

6. Aigner, M. F. Comparing supervised machine learning and large language models in title-abstract screening / M. F. Aigner [и др.] // Systematic Reviews. – 2026. – Vol. 15. – № 1. – DOI: 10.1186/s13643-026-03199-6.

7. Laignelot, F. Large language models show promising performance for some systematic review tasks but call for cautious implementation: a systematic review / F. Laignelot [и др.] // Journal of Clinical Epidemiology. – 2026. – Vol. 194. – P. 112221. – DOI: 10.1016/j.jclinepi.2026.112221.

8. Kempny, C. When to stop reviewing: validation of stop criteria in ASReview / C. Kempny [и др.] // BMC Medical Research Methodology. – 2026. – Vol. 26. – № 1. – DOI: 10.1186/s12874-026-02866-5.

9. Singh, V. K. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis / V. K. Singh [и др.] // Scientometrics. – 2021. – Vol. 126. – № 6. – P. 5113–5142. – DOI: 10.1007/s11192-021-03948-5.

10. Haddaway, N. R. The Role of Google Scholar in Evidence Reviews and Its Applicability to Grey Literature Searching / N. R. Haddaway, A. M. Collins, D. Coughlin, S. Kirk // PLOS ONE. – 2015. – Vol. 10. – № 9. – P. e0138237. – DOI: 10.1371/journal.pone.0138237.

УДК 004.891, 371.78

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОРГАНИЗАЦИИ ПРОФИЛАКТИКИ ДЕВИАНТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

Котилевец И.Д., к.т.н., старший преподаватель кафедры КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных»;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com;
Нагорных Н.А., студент Института кибербезопасности и цифровых технологий кафедры КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных», МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия

THE USE OF INFORMATION SYSTEMS IN THE ORGANIZATION OF PREVENTION OF DEVIANT BEHAVIOR OF STUDENTS IN GENERAL EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Kotilevets I.D., Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, Department KB-14 «Digital Data Processing Technologies»;
ORCID: 0000-0003-0433-3999;
E-mail: ikotilevets@gmail.com;
Nagornykh N.A., Student, Institute of Cybersecurity and Digital Technologies, Department KB-14 «Digital Data Processing Technologies», MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассматриваются возможности применения информационных систем для организации профилактики девиантного поведения обучающихся в общеобразовательных учреждениях и повышения эффективности работы специалистов, участвующих в данном процессе. Рассмотрена существующая организация профилактической деятельности в школе, выделены её основные этапы, участники и недостатки. Установлено, что значительная часть нагрузки остаётся на педагогических работниках, которым необходимо активно взаимодействовать друг с другом и сопоставлять и обрабатывать значительный объём разнородных данных, получаемых из разных источников. Проведён анализ существующих цифровых решений, применяемых в российских школах. Установлено, что они автоматизируют отдельные направления деятельности, но не обеспечивают комплексную поддержку процесса. Изучен зарубежный опыт использования информационных систем, в которых применяются технологии искусственного интеллекта для анализа поведенческих данных, выявления потенциальных рисков и поддержки специалистов при организации дальнейшей работы. На основе проведённого исследования обоснована целесообразность разработки специализированной интеллектуальной информационной системы, способной объединить сведения из разных источников, автоматически проводить их анализ и предлагать рекомендации по применению профилактических мер.

Ключевые слова: общеобразовательные организации, информационные системы в образовании, искусственный интеллект, девиантное поведение, автоматизация профилактической деятельности

Abstract

The paper examines the possibilities of using information systems to organize the prevention of deviant behavior among students in general education institutions and to improve the efficiency of the work of specialists involved in this process. The existing organization of preventive activities at the school is examined, and its main stages, participants, and shortcomings are identified. It has been established that a significant portion of the workload remains with teaching staff, who need to actively interact with each other and compare and process large volumes of heterogeneous data obtained from various sources. An analysis has been carried out of the existing digital solutions used in Russian schools. It has been established that they automate certain areas of activity but do not provide comprehensive support for the process. Foreign experience in using information systems that employ artificial intelligence technologies to analyze behavioral data, identify potential risks, and support specialists in organizing further work has been studied. Based on the research conducted, the feasibility of developing a specialized intelligent information system capable of combining data from various sources, automatically analyzing it, and offering recommendations for implementing preventive measures has been substantiated.

Keywords: General education organizations, information systems in education, artificial intelligence, deviant behavior, automation of preventive activities

Введение

Проблема девиантного поведения остаётся одним из актуальных вопросов современного общества. В последние годы особое внимание уделяется его проявлениям среди детей и подростков. Такой интерес обусловлен прежде всего возрастными особенностями несовершеннолетних. В этот период продолжается активное формирование личности, выстраиваются ценностные ориентиры, складываются основные представления о нормах поведения и способах взаимодействия с окружающими. Именно поэтому важно как можно раньше выявлять отклонения, пока они не закрепились и не стали устойчивой моделью поведения, которая может приводить к серьёзным негативным последствиям.

Наглядным показателем, позволяющим судить об остроте проблемы, является подростковая преступность. По данным правоохранительных органов в 2025 году количество преступлений в России, совершённых несовершеннолетними и при их соучастии, увеличилось на 10% по сравнению с прошлым годом (рис. 1) [1].



Рис. 1. Статистика количества преступлений,
совершённых несовершеннолетними и при их соучастии за 2021-2025 гг.

Важно понимать, что преступная деятельность отражает лишь часть проблемы. В научной литературе понятие девиантного поведения рассматривается значительно шире и включает в себя поведение, которое отклоняется от принятых в обществе социальных, нравственных и правовых норм. Причины возникновения и развития отклонений могут быть различными: личностные особенности ребёнка, отношения в семье и особенности воспитания, социальное окружение, отношения со сверстниками и взрослыми, особенности и условия, в которых происходит взросление. В детском и подростковом возрасте такие отклонения могут проявляться по-разному: агрессия, травля, систематическое нарушение правил и дисциплины, регулярные пропуски занятий, употребление психоактивных веществ, склонность к рискованным действиям и другие формы социальной дезадаптации.

Необходимость профилактики девиантного поведения несовершеннолетних отмечается и на государственном уровне. В 2023 году Указом Президента Российской Федерации №358 была утверждена Стратегия комплексной безопасности детей на период 2030 года, в числе направления которой предупреждение противоправного поведения несовершеннолетних, профилактика агрессии и травли, психолого-педагогическая помощь детям [2]. Работа в данном направлении ведётся на уровне профильных ведомств: Минпросвещения России разрабатывает и актуализирует методические материалы по раннему выявлению рисков и профилактике девиантного поведения обучающихся, в том числе рекомендации по психолого-педагогическому скринингу, формированию благоприятного социально-психологического климата и действиям специалистов при выявлении изменений в поведении ребёнка [3].

Важное место в решение данной задачи занимает общеобразовательная организация. Школа является для ребёнка не только местом получения знаний, но и одной из основных социальных сред, в которой происходит его взросление. Именно здесь на протяжении длительного времени можно наблюдать его учебную активность, отношения со сверстниками и взрослыми, изменения социального положения и поведения. Благодаря постоянному взаимодействию с обучающимся педагогические работники имеют возможность заметить изменения в поведении ребёнка и своевременно обратить на них внимание. Следовательно, можно сделать вывод о том, что общеобразовательная организация располагает широкими возмож-

ностями, для выявления и предупреждения девиантного поведения школьников на ранних этапах его формирования.

Основная часть

Профилактическая деятельность в общеобразовательной организации основывается на требованиях законодательства и методических рекомендациях, регулирующих работу с несовершеннолетними. Одним из основных нормативных документов в этой области является Федеральный закон №120-ФЗ «Об основах системы профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних», который определяет по оказанию социально-психологической и педагогической помощи детям и подросткам [4]. Обобщённо данный процесс в школе можно представить в виде нескольких последовательных этапов: выявление отклонения, анализ и оценка ситуации, определение и организация профилактических работ, наблюдение и оценка результатов (рис. 2).

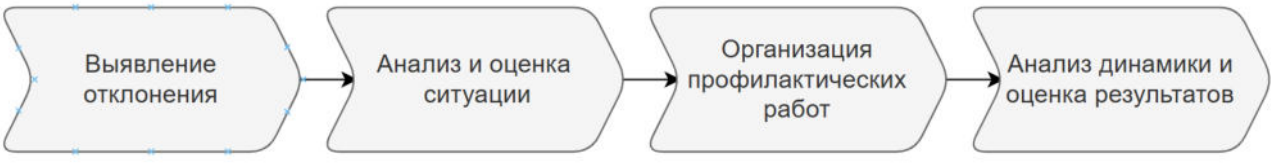


Рис. 2. Основные этапы профилактической деятельности в общеобразовательной организации

Реализация профилактической деятельности на каждом из указанных ранее этапов осуществляется классным руководителем, учителем, педагогом-психологом, социальным педагогом, администрацией школы и родителями обучающегося. При необходимости к процессу могут быть привлечены внешние специалисты. Каждый из участников оценивает ситуацию со своей стороны, а совокупность полученных сведений позволяет сформировать более целостное представление о поведении обучающегося и причинах его изменения.

Первый этап процесса начинается с выявления сигналов, которые указывают на признаки отклонения в поведении или состоянии обучающегося, это могут быть: опоздания, пропуски занятий, снижение учебной активности, нарушения дисциплины, конфликты со сверстниками и взрослыми и т.п. Данные факторы могут быть выявлены любыми участниками процесса, однако чаще их замечают классный руководитель, учитель или родитель обучающегося. В «Навигаторе профилактики девиантного поведения», разработанном МГППУ по заказу Минпросвещения России, отдельно отмечается, что оценивать необходимо не обособленный признак, а их совокупность и условия, в которых они проявляются [5]. Именно поэтому после обнаружения первых признаков, сведения об обучающемся уточняются и дополняются: анализируются данные об успеваемости и посещаемости, наблюдения педагогов, информация о поведении в коллективе, результаты диагностики педагога-психолога, сведения о семейной и социальной ситуации, в которой находится ребёнок. На следующем этапе специалисты определяют характер и тяжесть проблемы, а также возможные причины её возникновения. Если ситуация требует совместного рассмотрения, информация выносится на педагогический совет, где обсуждается несколькими участниками профилактической работы. По результатам такой оценки определяются дальнейшие действия и составляется план индивидуальной профилактической работы, который может включать в себя: индивидуальные беседы, психологическую помощь, взаимодействия с семьёй, социально-педагогическое сопровождение, вовлечение обучающегося во внеурочную деятельность и другие формы поддержки. После проведения намеченных мероприятий процесс не заканчивается: специалисты продолжают наблюдение за изменениями в поведении и состоянии школьника и при необходимости корректируют план работ.

Существующая на текущий момент организация профилактической работы в общеобразовательных учреждениях, описанная выше, имеет ряд недостатков. Один из них связан с тем, что разные аспекты поведения и состояния обучающегося находятся в поле наблюдения разных участников образовательно-воспитательного процесса. Учитель видит изменения в учебной деятельности и поведении на занятиях, педагог-психолог – психологическое состояние, социальный педагог и классный руководитель – семейную и социальную ситуацию, а также особенности взаимодействия со сверстниками. При этом отдельные признаки зачастую не дают достаточных оснований для оценки. Их значимость становится более очевидной при сопоставлении и анализе динамики. Поэтому профилактическая работа требует постоянного взаимодействия специалистов, и обмена сведениями, чтобы сформировать целостное представление о сложившейся ситуации и не рассматривать каждый фактор изолированно.

Дополнительную сложность представляет необходимость отслеживать изменения во времени. Единичный конфликт, пропуск занятия или снижение успеваемости могут носить случайный характер, тогда как их систематичность или одновременное появление нескольких факторов уже требуют более внимательного рассмотрения. Следовательно, специалистам важно учитывать не только текущее состояние, но и предыдущие наблюдения, проведённые мероприятия и их результаты. Таким образом, осуществление профилактической работы требует значительной вовлеченности педагогических работников. Помимо воспитательной деятельности они обеспечивают образовательный процесс, ведут документацию и выполняют другие профессиональные обязанности. При такой высокой нагрузке возможности для постоянного наблюдения, оперативного обмена сведениями, детального анализа каждой ситуации и вмешательства могут быть ограничены, что способно повлиять на своевременность и качество профилактической работы.

Снизить влияние рассмотренных недостатков профилактического процесса может помочь его частичная автоматизация с применением современных цифровых технологий. Информационные системы могут использоваться для фиксации результатов наблюдений, хранения сведений о проведённых мероприятиях, обмена информацией между специалистами и ведения общей истории работы с обучающимся.

Наличие единого информационного пространства позволит упростить обмен данными, полученными в результате профилактической работы, сократить время на поиск и сопоставление собранных сведений, а также уменьшить объём рутинной работы, связанной с ведением документации.

В российских школах уже используется ряд информационных систем, функционал которых может быть полезен при проведении профилактической работы [6-7]. Образовательные платформы «Дневник.ру», Московская электронная школа (МЭШ) и Федеральная государственная информационная система (ФГИС) «Моя школа» – позволяют учитывать успеваемость, посещаемость и другие показатели учебной деятельности. Более узкую задачу решает «1С:Психодиагностика образовательного учреждения», предназначенная для проведения психологической диагностики и хранения её результатов. Таким образом часть сведений, которые могут быть востребованы при оценке ситуации, уже формируются и хранятся в цифровом виде. Однако перечисленные решения затрагивают профилактическую деятельность лишь косвенно. Электронные дневники и образовательные платформы разработаны прежде всего для организации учебного процесса, а специализированные психологические системы – для автоматизации работы школьного психолога. Они не объединяют в рамках одного процесса наблюдения педагогов, результаты психологической диагностики, социальные сведения и информацию о проведённых профилактических мероприятиях. Также в них не предусмотрена совместная работа специалистов от момента появления оснований для дополнительного внимания до оценки результатов принятых мер. Поэтому полноценным аналогом информационной системы поддержки профилактики девиантного поведения такие решения не являются.

В связи с этим целесообразна разработка специализированной системы, которая позволила бы объединить необходимые сведения, организовать взаимодействия участников профилактической работы и обеспечить сопровождение её основных этапов. Однако создание единого информационного пространства решает только часть задачи. Если система будет выполнять исключительно функции учёта и хранения, основная аналитическая нагрузка по-прежнему останется на педагогах. Для более полной поддержки профилактической деятельности необходима интеллектуальная обработка накопленной информации с применением методов искусственного интеллекта (ИИ). Применение данного подхода может позволить системе автоматически обрабатывать и анализировать большой объём разнородной информации, поступающей из различных источников, выявлять закономерности, связи и ассоциации между показателями, определять нетипичные изменения, требующие особого внимания специалистов. Результатом работы такой системы могут стать уведомления о потенциальных рисках, пояснения факторов, повлиявших на сформированный вывод, а также рекомендации по организации дальнейшей профилактической работы. На основе полученной информации специалисты, смогут быстрее оценить ситуацию, определить необходимость дополнительного вмешательства и выбрать подходящие меры поддержки. Это позволит снизить объём ручной аналитической работы, повысить своевременность выявления рисков и сделать профилактическую деятельность более эффективной. Особенно важна такая возможность для ранней профилактики, когда задача стоит в своевременном обнаружении риска. При этом важно учитывать, что результаты интеллектуального анализа должны носить рекомендательный характер, а окончательная оценка должна оставаться за специалистом.

За рубежом существуют решения, которые частично реализуют подобный подход. Например, британская система «CPOMS StudenSafe» используется школами и позволяет её сотрудникам фиксировать и совместно рассматривать сведения, связанные с поведением, благополучием и безопасности учащихся. Благодаря интеграции с «Behavior Smart», использующей технологии ИИ, система получает дополнительные возможности для работы с девиациями. Модели ИИ анализируют накопленные сведения, выявляют повторяющиеся признаки и возможные причины отклонений, а также предлагает специалистам рекомендации по дальнейшей работе [8].

Схожий подход применяется и в американских школах. Системы «Panorama Student Success» и «Branching Minds», объединяют показатели учебной деятельности, посещаемости и поведения. На их основе проводится анализ и формируются индикаторы, которые помогают педагогам определить учащихся, нуждающихся в дополнительной поддержке и организовать дальнейшую работу с ними. Практика применения таких решений показывает положительную динамику. Например, в одной из школ округа Питтсфилд после принятия мер по работе с отклонениями, связанных с поведением, выявленными «Panorama Student Success», количество инцидентов сократилось на 75%. А в школьном округе Эванстон-Скоки за два года использования «Branching Minds» количество наиболее серьёзных нарушений дисциплины снизилось на 50% [9-10].

Рассмотренные зарубежные решения разработаны для других образовательных моделей, поэтому их применение в российских общеобразовательных учреждениях ограничено. Однако, их опыт может быть полезен при создании отечественного решения, учитывающего особенности организации профилактической работы в российских школах. На этой основе была разработана концептуальная структура такой системы, представленная на рис. 3.

Предполагаемая система включает функциональные модули, охватывающие основные направления работы с информацией об обучающемся и многоагентный аналитический контур для их обработки. Интеллектуальные агенты смогут обрабатывать накопленные сведения, выявлять потенциальные риски и формировать рекомендации, а специалисты – использовать полученные результаты при оценке ситуации и выборе дальнейших мер.

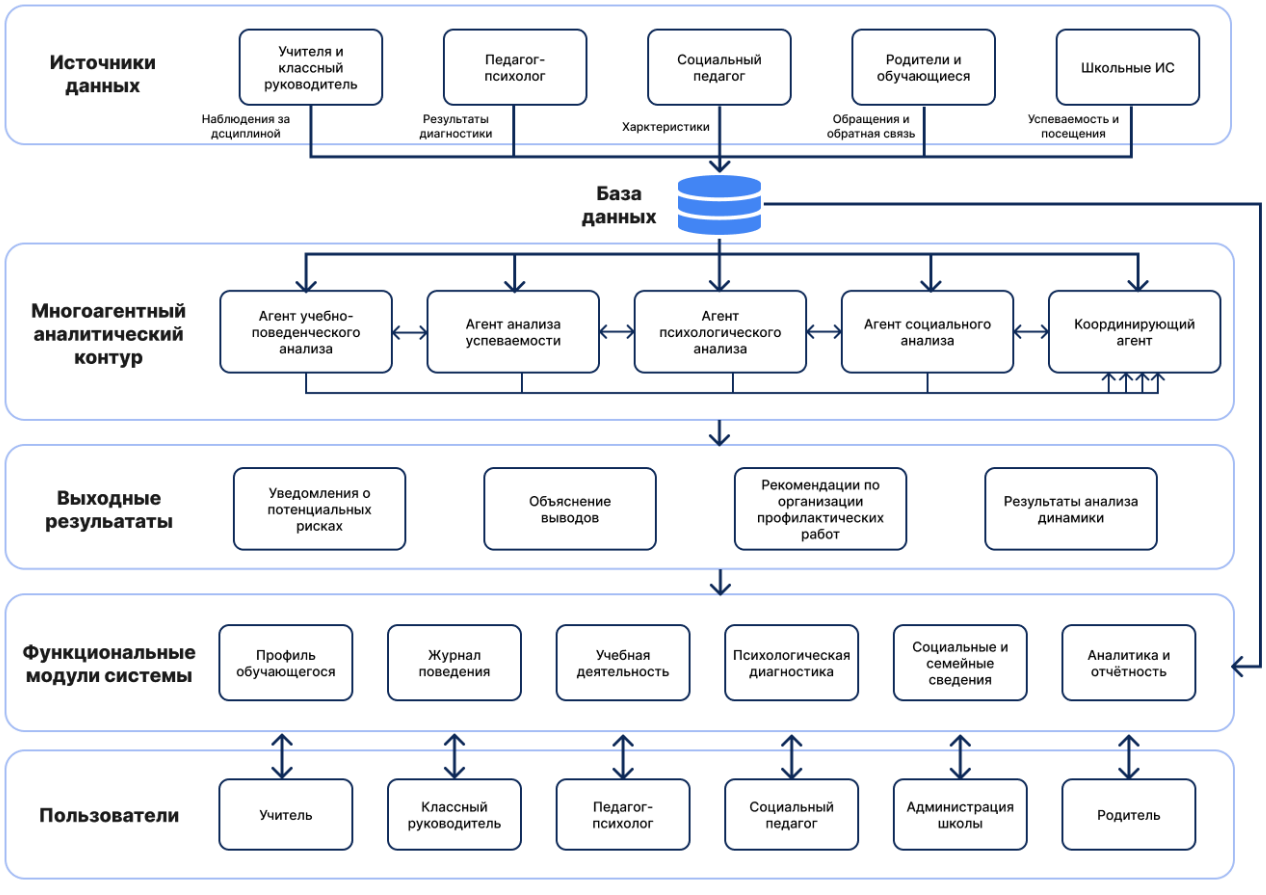


Рис. 3. Концептуальная структура информационной системы поддержки профилактики девиантного поведения

Заключение

В статье рассмотрены особенности организации профилактики девиантного поведения обучающихся и возможности применения информационных систем для её поддержки. Проведённый анализ показал, что используемые в школах на текущий момент, цифровые решения охватывают лишь отдельные направления работы и не обеспечивают необходимую поддержку специалистов. В связи с этим перспективным направлением является разработка интеллектуальной информационной системы, которая объединит работу участников процесса, обеспечит комплексную обработку накопленных сведений и поддержку раннего выявления потенциальных рисков, тем самым снизив нагрузку на специалистов и повысив своевременность и качество профилактической работы.

Одним из возможных направлений реализации такого решения является многоагентный подход, позволяющий распределить аналитические задачи между отдельными интеллектуальными агентами и использовать результаты их работы при планировании профилактических мероприятий.

Список литературы

1. Статистика и аналитика // Официальный сайт МВД РФ. – URL: https://мвд.рф/%20dejatelnost/%20statistics (дата обращения: 23.08.2026). –Текст: электронный.

2. Указ президента Российской Федерации от 17.05.2023 №358 «О Стратегии комплексной безопасности детей в Российской Федерации на период до 2030 года». – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406788976/ (дата обращения 23.08.2026) – Текст: электронный.

3. Профилактика девиантного поведения обучающихся в образовательных организациях: психолого-педагогический скрининг и формирование благоприятного социально-пси-

хологического климата: методические рекомендации: письмо Министерства просвещения Российской Федерации от 28 июля 2023 г. № 07-4251. – Москва: Министерство просвещения Российской Федерации, 2023.

4. Федеральный закон от 24 июня 1999 г. N 120-ФЗ «Об основах системы профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних» (с изменениями и дополнениями) – URL: https://base.garant.ru/12116087/ (дата обращения 23.08.2026) – Текст: электронный.

5. Навигатор профилактики девиантного поведения. Методические материалы по признакам девиаций, действиям специалистов системы образования в ситуациях социальных рисков и профилактике девиантного поведения обучающихся / Богданович Н.В., Вихристюк О.В., Дворянчиков Н.В., М.Г., Делибалт В.В., Дозорцева Е.Г. – М.: ФГБОУ ВО МГППУ, 2022 г. – 25 с. – URL: https://mgppu.ru/about/publications/deviant_behaviour (дата обращения 25.08.2026) – Текст: электронный.

6. Национальный проект «Образование». Федеральный проект «Цифровая образовательная среда» // Министерство просвещения Российской Федерации. – URL: https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/ (дата обращения 25.08.2026) – Текст: электронный.

7. Отраслевые и специализированные решения // Официальный сайт 1С:Предприятие. – URL: https://solutions.1c.ru/ (дата обращения 25.08.2026) – Текст: электронный.

8. CPOMS Partners with Behaviour Smart to Strengthen Safeguarding Visibility in StudentSafe // CPOMS. – URL: https://www.cpoms.co.uk/ (дата обращения: 29.08.2026). – Текст: электронный.

9. Pittsfield Public Schools Adopts Data-Driven PBIS // Panorama Education. – URL: https://www.panoramaed.com/ (дата обращения: 29.08.2026). – Текст: электронный.

10. How Evanston-Skokie District 65 Moved from Reactive to Proactive SEL Approach // Branching Minds. – URL: https://www.branchingminds.com/ (дата обращения: 29.08.2026). – Текст: электронный.

УДК 340.1 + 004.89

ЮРИСТ-АНАЛИТИК И ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ И МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Котоманова С.С., к.ю.н., руководитель образовательной программы «Магистр права», старший преподаватель кафедры конституционного и административного права Юридической школы Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Россия;
ORCID: 0009-0002-0362-3329;
E-mail: kotomanova.ss@dvfu.ru

LAWYER-ANALYST AND GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE: TRANSFORMATION OF PROFESSIONAL IDENTITY AND METHODOLOGY FOR FORMING COMPETENCIES

Kotomanova S.S., PhD (Law), Head of the Master of Laws program, Senior Lecturer, Department of Constitutional and Administrative Law, School of Law, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;
ORCID: 0009-0002-0362-3329

Аннотация

Статья посвящена трансформации профессиональной идентичности юриста-аналитика под влиянием генеративного искусственного интеллекта и методологии формирования

соответствующих компетенций в системе юридического образования. Автор анализирует проблемы, порождаемые разрозненным внедрением ИИ в учебный процесс: подмена самостоятельной аналитики текстовой генерацией, «галлюцинации» нейросетей, создающие угрозу формирования ошибочных правовых конструкций, потеря традиционных профессиональных навыков, отсутствие методологических ориентиров в большинстве вузов, а также этико-правовые риски, связанные с использованием зарубежных ИИ-платформ и утечкой персональных данных. Исследователем выводится концептуальный образ юриста-аналитика будущего как «верификатора», критически оценивающего результаты ИИ, «переводчика» между правом и технологиями и носителя «человеческого измерения» профессии. Предложена четырёхуровневая методологическая модель внедрения ИИ в учебный процесс: базовое понимание технологий, интеграция ИИ в традиционные дисциплины, формирование самостоятельного профессионального суждения и, в качестве факультативного этапа, развитие междисциплинарных программ. Проанализированы примеры государственной и частной поддержки трансформации образовательных продуктов в условиях цифровых технологий. Автор приходит к выводу, что ключевая задача юридического образования – не замена классической подготовки цифровыми инструментами, а формирование гибридного типа мышления, сочетающего правовую логику и технологическую грамотность, что позволит выпускникам эффективно взаимодействовать с ИИ, критически оценивать его результаты и принимать ответственные решения, сохраняя человеческое измерение правосудия.

Ключевые слова: юрист-аналитик, искусственный интеллект, цифровая трансформация, юридическое образование, компетенции, Legal Tech, генеративные нейросети, методология обучения

Abstract

The article is devoted to the transformation of the professional identity of a lawyer-analyst under the influence of generative artificial intelligence and the methodology for developing relevant competencies in the legal education system. The author analyzes the problems generated by the disparate introduction of AI into the educational process: the replacement of independent analytics with text generation, «hallucinations» of neural networks that create the threat of the formation of erroneous legal structures, the loss of traditional professional skills, the lack of methodological guidelines in most universities, as well as ethical and legal risks associated with the use of foreign AI platforms and leakage of personal data. The researcher develops a conceptual image of the legal analyst of the future as a «verifier» who critically evaluates the results of AI, a «translator» between law and technology, and a bearer of the «human dimension» of the profession. A four-level methodological model for introducing AI into the educational process is proposed: a basic understanding of technology, integration of AI into traditional disciplines, the formation of independent professional judgment and, as an optional stage, the development of interdisciplinary programs. Examples of public and private support for the transformation of educational products in the context of digital technologies are analyzed. The author comes to the conclusion that the key task of legal education is not the replacement of classical training with digital tools, but the formation of a hybrid type of thinking that combines legal logic and technological literacy, which will allow graduates to effectively interact with AI, critically evaluate its results and make responsible decisions, while maintaining the human dimension of justice.

Keywords: legal analyst, artificial intelligence, digital transformation, legal education, competencies, Legal Tech, generative neural networks, teaching methodology

Введение

Юридическая профессия на протяжении столетий сохраняла устойчивый контур профессиональной идентичности: юрист – это хранитель и интерпретатор нормы, аналитик, работающий с текстами законов, судебных актов и доктринальных источников. Однако стремительное развитие технологий искусственного интеллекта, особенно генеративных языковых

моделей, ставит под сомнение саму возможность сохранения этой идентичности в неизменном виде. В этих условиях меняется не только характер юридического труда, но и требования к профессиональной подготовке юристов. Выпускник юридического ВУЗа должен быть не просто носителем правовых знаний, но и специалистом, способным эффективно взаимодействовать с интеллектуальными системами, критически оценивать результаты их работы и принимать обоснованные решения в условиях цифровой неопределенности.

Актуальность темы определяется кризисом традиционных форм оценки знаний в юридическом образовании. При этом на сегодняшний день применительно ко внедрению технологий ИИ в учебный процесс диапазон мнений достаточно широк – от призывов полностью запретить всякое использование искусственного интеллекта до предложений о внедрении в учебный процесс специальных учебных курсов по его изучению [1, с. 12].

С учетом изложенного, цель настоящей статьи – на основе анализа современных тенденций цифровизации юридической деятельности и практики российских вузов предложить концептуальную модель формирования компетенций юриста-аналитика в эпоху генеративного искусственного интеллекта.

1. Текущее состояние и проблемы использования студентами-юристами ИИ в учебном процессе

Разрозненное внедрение генеративных нейросетей в образовательный процесс юридических вузов порождает ряд серьезных проблем, требующих системного осмысления и выработки адекватных педагогических решений.

1.1. *Подмена аналитики генерацией текста*. Наиболее очевидная проблема заключается в том, что студенты все чаще делегируют интеллектуальные задачи ИИ, подменяя самостоятельный анализ текстовой генерацией. Это, действительно, становится массовым явлением, получившим название «пассивной зависимости от ИИ» [2]. Студент перестает проходить через необходимые этапы формирования профессионального мышления – от постановки проблемы и поиска источников до критического осмысления и формулирования собственных выводов. ВУЗы России уже массово используют инструменты распознавания ИИ-текста в системе «Антиплагиат ВУЗ»: алгоритмы анализируют структуру и предсказуемость текста, формируют отчет с долей ИИ. Однако такие меры носят реактивный, а не превентивный характер.

1.2. *«Галлюцинации» ИИ как угроза профессиональной подготовке*. Генеративные нейросети подвержены так называемым «галлюцинациям» – генерации вымышленной, но внешне правдоподобной информации [3, с. 915]. В юридической сфере это проявляется в создании несуществующих нормативных правовых актов, вымышленных судебных актов и научных источников.

1.3. *Потеря традиционных профессиональных навыков*. Чрезмерное увлечение ИИ-инструментами ведет к атрофии базовых профессиональных навыков юриста. Среди них: навык работы с первоисточниками, навык правовой аргументации, коммуникативные навыки и др.

1.4. *Отсутствие методологических ориентиров*. Важнейшая проблема заключается в том, что большинство юридических вузов не имеют четких методологических ориентиров по интеграции ИИ в учебный процесс. Как следствие, складывается ситуация правовой и педагогической неопределенности: одни преподаватели запрещают использование нейросетей, другие игнорируют их присутствие, третьи – поощряют без каких-либо ограничений.

1.5. *Несоблюдение этико-правовых аспектов и риски утечки персональных данных*. Помимо когнитивных рисков, использование студентами-юристами генеративных нейросетей порождает серьезные этико-правовые проблемы, связанные с безопасностью данных и соблюдением законодательства. Эти риски усугубляются тем, что студенты, не обладая достаточным правовым сознанием, зачастую воспринимают диалог с ИИ как «личный черновик», забывая о правовом статусе обрабатываемой информации. Как отмечает М.А. Малина, «в целях безопасности для исследуемой предметной области применяться должны исключительно российские системы текстового искусственного интеллекта» [4]. Однако на практике студенты массово ис-

пользуют зарубежные ChatGPT и аналогичные платформы, что создает неустранимые риски для конфиденциальности персональных данных и, вероятно, государственной безопасности.

2. Образ юриста-аналитика будущего

Осознание и системный анализ перечисленных проблем позволяют не только констатировать кризисные явления, но и определить вектор необходимых преобразований. Преодоление этих вызовов требует формирования принципиально нового профессионального облика юриста, адаптированного к реалиям цифровой эпохи. Исходя из текущих условий трансформации юридической профессии, концептуальный образ юриста-аналитика будущего видится следующим.

Ключевое изменение профессиональной идентичности заключается в смещении акцента с генерации правовых текстов на их верификацию. Если раньше основным продуктом труда юриста-аналитика был самостоятельно подготовленный документ, то теперь всё большую роль играет способность критически оценить результат, полученный с помощью ИИ-инструментов. Юрист превращается в «верификатора», проверяющего достоверность и юридическую корректность выводов нейросети. Критический взгляд позволяет не стать заложником «галлюцинаций» ИИ и сохранить самостоятельность суждений.

Одновременно он выступает в роли «переводчика» между миром права и миром технологий. Такой специалист должен понимать логику работы ИИ-систем, чтобы ставить им корректные задачи и интерпретировать результаты, сохраняя приверженность правовым ценностям и профессиональной этике. Это требует не только юридической грамотности, но и технологической осведомлённости, позволяющей видеть границы возможностей алгоритмов.

Наконец, юрист-аналитик будущего должен сохранять «человеческое измерение» профессии – способность к эмпатии, коммуникации, пониманию контекста и нюансов человеческих отношений. Именно эти качества, недоступные алгоритмам, останутся неотъемлемой частью юридической деятельности. Цифровая трансформация не упраздняет, а переопределяет роль юриста, делая его более значимым звеном в системе правосудия, поскольку окончательная ответственность за принятые решения всегда остаётся за человеком.

3. Методология внедрения ИИ в учебный процесс в образовательных программах, направленных на формирование у юристов аналитических компетенций

Цифровая трансформация юридической профессии требует пересмотра модели компетенций выпускника юридического факультета. Традиционный набор знаний, умений и навыков должен быть дополнен принципиально новыми компонентами, отражающими реалии взаимодействия человека и искусственного интеллекта в правовой сфере.

Показательным примером комплексного решения этой задачи служит подход Университета Чикаго, где студенты осваивают ИИ по триаде «with, without, and about AI» – с ИИ, без ИИ и об ИИ [5]. Университет сознательно сохраняет фундаментальное обучение на первом курсе, ограничивая использование электронных устройств, и одновременно создаёт AI Lab для практического освоения технологий. Такая стратегия позволяет предотвратить многие из описанных выше проблем, связанных с бесконтрольным использованием ИИ в образовательном процессе.

Однако чикагская модель, будучи ценным ориентиром, не может быть механически перенесена в российскую образовательную среду: она требует учёта национальной правовой специфики и детальной проработки на уровне дисциплин, форм контроля и инфраструктурных решений. С учётом этих соображений, на основе анализа российской и зарубежной практики предлагается четырёхуровневая методологическая модель внедрения ИИ в учебный процесс, направленная на формирование у юристов аналитических компетенций.

Первый уровень предполагает формирование у студентов базового понимания природы, возможностей и ограничений технологий ИИ. Он включает дисциплины, знакомящие с основами цифровых технологий, обучение промпт-инжинирингу, освоение специализированных правовых ИИ-инструментов – и позволяет студентам понять логику работы ИИ.

Второй уровень предполагает встраивание ИИ-инструментов в преподавание традиционных юридических дисциплин – гражданского, уголовного, административного права, процесса и др. Это реализуется через решение учебных кейсов с использованием ИИ, анализ судебной практики с его помощью, подготовку процессуальных документов, что позволяет студентам освоить навыки работы с данными и правовой аналитики.

Третий, высший уровень направлен на формирование способности к самостоятельному профессиональному суждению в цифровой среде. Он предполагает освоение этики и права ИИ, развитие критического мышления – систематическую работу по выявлению и анализу ошибок, «галлюцинаций» и искажений в результатах ИИ, а также формирование профессиональной ответственности. Благодаря этому уровню студенты осваивают ключевую компетенцию юриста-аналитика будущего – верификацию и критическую оценку результатов ИИ, сохраняя приверженность фундаментальным правовым ценностям.

Четвёртый уровень – факультативный, связан с развитием новых образовательных программ на стыке права и технологий. В российских вузах уже появляются такие программы: магистратура «ЛигалТех (Legal Tech)» в НИУ ВШЭ, «Цифровой юрист» в Финансовом университете, «Цифровая юриспруденция» в ДВФУ и так далее.

Для реализации описанной методологии необходимо создание организационно-педагогических условий: массовое обучение преподавателей ИИ-инструментам, инфраструктура для доступа к современным ИИ-системам, правовым базам и аналитическим платформам, пересмотр форм аттестации. Однако сегодня системное создание таких условий остаётся исключением. Большинство юридических вузов не имеют бюджетных возможностей для приобретения ИИ-систем, квалифицированных кадров для их сопровождения и нормативной базы, регламентирующей этичное использование ИИ.

Более того, преподаватели, воспитанные на классической догматике, скептически относятся к ИИ: одни видят угрозу идентичности, другие – катализатор деградации студентов. Однако грамотное использование ИИ помогает преподавателям в организации учебных материалов, автоматизации оценки и обратной связи, оптимизации обучения [6, с. 806-807], что сокращает временные затраты и высвобождает ресурс для развития у студентов навыков правовой аргументации, критического анализа и профессионального суждения. Именно это, а не страх перед технологией, должно стать отправной точкой для пересмотра педагогических стратегий.

4. О редизайне образовательных продуктов: опыт и поддержка

Трансформация юридического образования в условиях цифровой эпохи требует не просто добавления новых дисциплин, а системного редизайна образовательных продуктов – переосмысления целей, содержания, методов и форм обучения. В российской образовательной практике накоплен определенный опыт в этом направлении, поддерживаемый как государственными программами, так и частными инициативами.

Из государственных программ необходимо особо отметить федеральную программу стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», являющейся драйвером трансформации университетов. Данная программа стала важнейшим инструментом поддержки инновационных образовательных проектов в том числе в сфере юридического образования.

К примеру, Московский государственный юридический университет имени О.Е. Кутафина (МГЮА) в рамках данной программы создал Лабораторию искусственного интеллекта – стратегическую академическую единицу, объединяющую исследователей, практиков и преподавателей, работающих на стыке права и технологий ИИ. Деятельность лаборатории охватывает правовое регулирование искусственного интеллекта, применение ИИ-инструментов в юридической практике и образовании, обеспечение технологического суверенитета и безопасности. В рамках лаборатории созданы тематические рабочие исследовательские группы, в том числе группа «ИИ в юридическом образовании», которая занимается практическими подходами к формированию технологических компетенций у молодых юристов [7].

Дальневосточный федеральный университет, Псковский государственный университет и иные высшие учебные заведения в рамках проекта «Цифровые кафедры» реализуют дополнительные профессиональные программы, связанные с развитием аналитических компетенций и навыков использования искусственного интеллекта у студентов-юристов. Результатом данного обучения является присвоение квалификации по ИТ-профилю дополнительно к квалификации по образовательным программам высшего образования.

Среди частных инициатив, поддерживающих трансформацию образовательных продуктов сквозь призму цифровых технологий, можно отметить грантовую программу для преподавателей магистратуры Благотворительного фонда Владимира Потанина. Ежегодно Фондом Потанина поддерживается 150 инициатив, направленных на редизайн образовательных продуктов, большое число которых связаны с внедрением в обучение цифровых технологий. Размер каждого гранта составляет до 500 тыс. рублей, а срок реализации проектов – 12 месяцев [8]. Денежные средства могут быть расходованы на необходимые для обновления образовательного продукта цифровые технологии, например, на приобретение подписок на системы искусственного интеллекта.

Есть и иные частные программы поддержки, к примеру, проводимый Альфа-банком и НИУ ВШЭ Конкурс инноваций в образовании, конкурс от Банка «Центр-инвест» «Траектория обучения будущего: Персонализация с применением ИИ» и другие.

Приведённые примеры государственной и частной поддержки в совокупности демонстрируют, что редизайн юридического образования в условиях цифровой трансформации признан приоритетной задачей на всех уровнях. Важно, что поддержка осуществляется не только на уровне институциональных решений (создание лабораторий, кафедр, программ), но и на уровне отдельного преподавателя, получающего ресурсы для обновления своих дисциплин и освоения ИИ-инструментов. Именно такое сочетание «вертикальной» (государственной) и «горизонтальной» (частной, грантовой) поддержки создаёт необходимые условия для системной трансформации юридического образования, позволяя вузам не просто реагировать на технологические вызовы, а формировать повестку и задавать стандарты подготовки юристов будущего.

Выводы

Цифровая трансформация юридической профессии – это не просто технологическое обновление, а фундаментальный сдвиг в профессиональной идентичности юриста-аналитика. Традиционная модель, основанная на ручном анализе текстов и самостоятельной генерации правовых документов, уступает место новой модели, в которой ключевыми становятся навыки взаимодействия с ИИ, верификации результатов и критического мышления.

На сегодняшний день предстоит еще большая работа по методологическому осмыслению процессов интеграции ИИ в юридическое образование, подготовке преподавательского состава и разработке новых форм оценки знаний. Ключевая задача – не заменить классическую юридическую подготовку цифровыми инструментами, а органично встроить их в учебный процесс, сформировав у выпускника не просто набор навыков, а новый тип юридического мышления – гибридного, сочетающего правовую логику и технологическую грамотность. Именно такой юрист-аналитик будет востребован в новой цифровой экономике – специалист, способный не только пользоваться ИИ, но и мыслить критически, принимать ответственные решения и сохранять человеческое измерение правосудия.

Благодарности: публикация осуществляется в рамках проекта «Экспертиза правовых актов и аналитическая деятельность юриста», реализуемого победителем грантового конкурса для преподавателей 2025/2026 Стипендиальной программы Владимира Потанина.

Список литературы

1. Рыженков, А. Я. Организационно-правовые и этические аспекты использования искусственного интеллекта в образовательной деятельности на юридических факультетах в России / А. Я. Рыженков // Правовой порядок и правовые ценности. – 2025. – № 1. Том 3. – С. 9–18.

2. Lorteau, S., & Sarro, D. (2026). Artificial intelligence in legal education: a scoping review. The Law Teacher, 60 (1), 138–162. – URL: https://doi.org/10.1080/03069400.2025.2592440.

3. Кирпичёв, А. Е. Промпты (запросы) для генеративного искусственного интеллекта в юридическом дискурсе / А. Е. Кирпичёв // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Юридические науки. – 2024. – № 4. Т. 28. – С. 906-918.

4. Малина, М. А. Проблемы и перспективы применения искусственного интеллекта в деятельности следователя / М. А. Малина // Актуальные проблемы российского права. – 2026. – № 2. – С. 150–164.

5. UChicago Law Unveils New AI Strategy. – URL: https://www.law.uchicago.edu/news/uchicago-law-unveils-new-ai-strategy-statement?et_blog&mode=grid.

6. Даниелян, А. С. Юридическое образование и искусственный интеллект: векторы взаимодействия / А. С. Даниелян // Russian journal of economics and law. – 2024. – № 3. Т. 18. – С. 804–823.

7. В Университете имени О.Е. Кутафина (МГЮА) создана Лаборатория искусственного интеллект. – URL: https://msal.ru/news/v-universitete-imeni-o-e-kutafina-mgyua-sozdana-laboratoriya-iskusstvennogo-intellekta/ (дата обращения: 20.06.2026).

8. Результаты грантового конкурса для преподавателей 2025/26. – URL: https://fondpotanin.ru/press/news/rezultaty-grantovogo-konkursa-dlya-prepodavateley-2025-26/ (дата обращения: 01.07.2026).

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ LLM ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТКРЫТЫХ ОТВЕТОВ В ТЕСТИРОВАНИИ ПО ООП

Латифуллина А.М., студент;
E-mail: alia052002@mail.ru;
Вафин Р.Р., доцент, научный руководитель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

APPLICATION OF LLM FOR ASSESSING OPEN-ENDED ANSWERS IN OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING (OOP) TESTING

Latifullina A.M., Student;
E-mail: alia052002@mail.ru;
Vafin R.R., Scientific Supervisor, Associate Professor of the Department of Automated Information Processing and Control Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье описана разработка автоматизированной системы оценки ответов на открытые вопросы по дисциплине «Объектно-ориентированное программирование». Проверка таких ответов без интеллектуальных систем требует значительных временных и умственных затрат со стороны преподавателя, что особенно остро проявляется в условиях массового обучения и цифровой трансформации образования. Интеграция больших языковых моделей (LLM) в архитектуру веб-приложения позволит анализировать развернутые ответы и предоставить обратную связь по тестированию студентам.

В работе выполнен анализ существующих сервисов LLM, обоснован выбор YandexGPT как наиболее подходящего сервиса для российского образовательного процесса. Описаны со-

здание сервисного аккаунта, настройка прав доступа, интеграция в веб-приложение на платформе Blazor. Использовался паттерн «Адаптер», который обеспечил независимость клиентской логики от реализации внешнего сервиса.

Ключевая роль в эффективности работы системы отводится правильно сформулированному промпту – даже самая мощная LLM даст плохой результат при некорректной постановке задачи. В статье представлен шаблон промпта, в котором явно заданы правила проверки соответствия ответа вопросу, критерии оценки (от 0 до 3 баллов), а также требуемый формат генерируемой обратной связи.

Результатом работы является реализация гибкой системы оценки, где преподаватель может настраивать «степень строгости» искусственного интеллекта – от максимального лояльного до строгого. Это возможно благодаря изменениям параметров и формулировки промпта. Веб-приложение не только подсчитывает баллы, но и генерирует комментарии, указывая на сильные стороны ответа и давая рекомендации по его улучшению.

Предложенное решение может быть внедрено в образовательный процесс для массового тестирования, проведения зачетов и экзаменов, а также создания тренажеров для самостоятельной подготовки с мгновенной обратной связью, что позволяет существенно снизить нагрузку на преподавателя. Такой инструмент может дополнить преподавателя, беря на себя техническую часть оценки знаний. Это особенно актуально в условиях цифровой трансформации образования, где требования к скорости, масштабируемости и доступности учебных ресурсов постоянно возрастают.

Ключевые слова: искусственный интеллект, большие языковые модели (LLM), YandexGPT, объектно-ориентированное программирование, интеграция API, автоматическая оценка знаний, веб-приложение Blazor

Abstract

This work describes the development of an automated system for evaluating answers to open-ended questions in the discipline «Object-Oriented Programming». Evaluating such answers without intelligent systems requires significant time and mental resources from the instructor, which is especially acute in the context of mass learning and the digital transformation of education. Integration of large language models (LLM) into the architecture of a web application will make it possible to analyze detailed answers and provide feedback on testing to students.

This paper analyzes existing LLM services and substantiates the choice of YandexGPT as the most suitable for the Russian educational process. The article describes creation of a service account, configuration of access rights, and integration it into web application on the Blazor platform. The Adapter pattern was used to ensure the independence of the client logic from the implementation of the external service.

A key role in the effectiveness of the system is assigned to a correctly formulated prompt – even the most powerful LLM will give a poor result if the task is incorrectly stated. This article presents a prompt template in which the rules for checking the correspondence of the answer to the question, evaluation criteria (from 0 to 3 points), as well as the required format of the generated feedback are explicitly specified.

The result of the work is the implementation of a flexible assessment system, where the teacher can adjust the “degree of strictness” of the artificial intelligence – from maximally lenient to strict. This is possible due to changes in parameters and wording of the prompt. The web application not only calculates points but also generates comments, pointing out the strengths of the answer and providing recommendations for its improvement.

The proposed solution can be implemented in the educational process for mass testing, conducting tests and exams, as well as creating self-study simulators for independent preparation with instant feedback, significantly reducing the workload of teachers. Such a tool can complement the teacher by taking on the technical aspects of knowledge assessment. This is especially relevant in

the context of the digital transformation of education, where requirements for speed, scalability, and accessibility of educational resources are constantly increasing.

Keywords: artificial intelligence, large language models (LLM), YandexGPT, object-oriented programming, API integration, automatic knowledge assessment, Blazor web application

Образовательный процесс активно трансформируется благодаря внедрению современных технологий. Как отмечалось в работе [1]: «Особый интерес представляют интеллектуальные системы оценки знаний. Нейросетевые алгоритмы обработки естественного языка уже сегодня способны проверять развернутые ответы студентов с точностью, сопоставимой с человеческой... Это кардинально меняет подход к организации учебного процесса, позволяя преподавателям отдалиться от однообразной проверки сотен работ и сосредоточиться на творческих аспектах педагогической деятельности».

Цель работы – разработка веб-приложения для тестирования знаний по ООП с автоматической оценкой ответов на открытые вопросы по предмету «Объектно-ориентированное программирование» с использованием больших языковых моделей (на примере YandexGPT).

Автор в своей статье [2] предполагает, что «современные достижения в ИИ позволяют прогнозировать в ближайшем будущем создание универсальных «цифровых» преподавателей с эмпатией, харизмой, владеющих технологиями убеждения и мотивации, учитывающих психологические индивидуальные особенности обучаемых, блестяще владеющих предметом и различными технологиями обучения». Помимо того, что созданная система способна оценить результат тестирования по профильному предмету в баллах, она может дать комментарии и рекомендации студенту, насколько полно он ответил и чего не хватило для максимального балла. Можно настроить степень «строгости» искусственного интеллекта, например, будет ли он требовать полного соответствия с лекциями преподавателя или давать дополнительные баллы расширенный ответ, который не совсем соответствует эталонному.

Искусственный интеллект (далее – ИИ) – область компьютерных наук, занимающаяся созданием систем, способных выполнять задачи, требующие человеческого интеллекта: распознавание образов, принятие решений, обработка естественного языка. Нейронные сети являются одним из методов ИИ, вдохновленный биологической структурой мозга. Они состоят из множества взаимосвязанных узлов (нейронов), которые обучаются на больших объемах данных. Большие языковые модели (LLM) – это тип нейронных сетей, обученных на огромных массивах текстовых данных, которые способны понимать и генерировать текст на естественном языке, отвечать на вопросы, выполнять текстовые задачи.

Генеративный ИИ – подмножество ИИ, способное создавать новый контент (текст, изображения, код) на основе обучающих данных. На сегодняшний день существует несколько популярных сервисов, предоставляющих доступ к большим языковым моделям через API:

1. YandexGPT API оптимизирован для русского языка, имеет понятную документацию, доступен в России;
2. OpenAI API (ChatGPT) – одна из самых мощных моделей, но требует оплаты и VPN для доступа из России;
3. GigaChat API от Сбер – Российская разработка, хорошо работает с русским языком, доступен по API.

Для данного проекта был выбран YandexGPT API, так как он стабильно работает на территории России, качественно поддерживает русский язык, имеет бесплатный тариф для тестирования и простую интеграцию через REST API. Он является облачным сервисом, предоставляемым через Yandex Cloud. Облачные вычисления – это модель предоставления вычислительных ресурсов по требованию через интернет. Преимущества использования облачного ИИ: не нужно развертывать и обслуживать мощные серверы для запуска LLM, облачный провайдер автоматически выделяет ресурсы под нагрузку, сервис доступен 24/7 из любой точки, API-ключи и данные передаются по защищенным каналам.

В рамках проекта для доступа к YandexGPT был создан сервисный аккаунт в Yandex Cloud – специальный аккаунт с ограниченными правами, используемый для безопасного доступа к API (рис. 1).

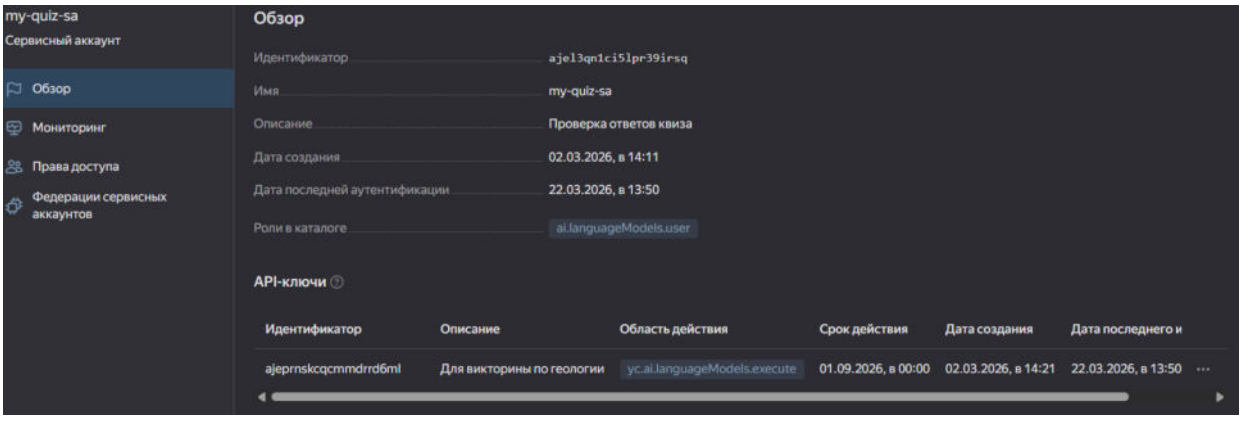


Рис. 1. Создание сервисного аккаунта и получение API-ключа

Ему была назначена роль ai.languageModels.user, а для аутентификации сгенерирован API-ключ. В проекте взаимодействие с YandexGPT осуществляется через REST API: приложение отправляет POST-запрос с данными и получает ответ в формате JSON. REST (Representational State Transfer) – архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределенного приложения в сети, содержит принципы клиент-серверной архитектуры, единообразия интерфейса (использование стандартных HTTP-методов GET, POST, PUT, DELETE) и отсутствия состояния.

JSON (JavaScript Object Notation) – текстовый формат обмена данными, основанный на синтаксисе JavaScript. Он стал стандартом для веб-API благодаря своей простоте и читаемости. В разработанном приложении YandexGPT используется для оценки развернутых ответов участников тестирования. Пример запроса к YandexGPT:

```
{
   modelUri =gpt://{folderId}/yandexgpt-lite",
   completionOptions = new
   {
      stream = false,
      temperature = 0.3,
      maxTokens = "300"
   },
   messages = new[]
   {
      new { role = "system", text = "Ты – доброжелательный и опытный преподаватель. Отвечай кратко, по делу, на русском языке." },
      new { role = "user", text = prompt }
   }
};
```

При интеграции с внешним API важно изолировать основное приложение от изменений во внешнем сервисе. Для этого используется паттерн «Адаптер». С помощью него происходит преобразование форматов данных между внешним API и внутренним представлением, обрабатываются ошибки внешнего сервиса. Благодаря ему имеется возможность замены одного внешнего сервиса на другой без изменения кода приложения. В разработанном проекте роль адаптера выполняет API эндпоинт /api/check-answer в файле Program.cs. Он принимает запрос от клиента, преобразует его в формат, понятный YandexGPT, отправляет запрос, а за-

тем преобразует ответ обратно в формат, понятный клиенту. Интеграционный уровень реализован в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Реализация интеграционного уровня

Компонент архитектуры	Реализация в коде	Назначение
API Gateway	HttpClient в компоненте викторины	Отправка HTTP-запросов от клиента к серверному эндпоинту
Адаптер	Minimal API эндпоинт /api/check-answer в Program.cs	Преобразование запросов, сериализация/десериализация, маршрутизация к внешнему API
Сериализация	System.Text.Json	Преобразование объектов в JSON для отправки в YandexGPT и обратно
Внешний сервис	YandexGPT API	Проверка открытых ответов, генерация обратной связи

Ключевой элемент успешной интеграции – правильно сформулированный промпт (запрос к ИИ), несмотря на доступность сложных моделей с миллиардами параметров, эффективность их применения часто упирается в способность человека корректно сформулировать запрос из нескольких десятков слов [3]. В проекте используется следующий шаблон:

Вопрос: {request.Question}

Ответ пользователя: {request.Answer}

Правильные элементы ответа (в любом порядке): {request.Info}

Первым делом определи, отвечает ли пользователь на заданный вопрос.

Если ответ никак не связан с вопросом, содержит только цифры, бессмысленный набор букв, описывает совсем другую тему, то ставь оценку: 0 из 3 и напиши: 'Ваш ответ не соответствует вопросу. Пожалуйста, внимательно прочитайте вопрос и дайте ответ по теме.'

Если ответ по теме, тогда оценивай по шкале:

3 балла: ответ в целом верный, есть все основные мысли

2 балла: ответ близкий к правильному, но упущена 1-2 важных мысли

1 балл: есть некоторые правильные идеи, но ответ в основном неверный

Пример ответа: Оценка: 2 из 3. Вы хорошо описали ... Однако можно было упомянуть о ..., а также уточнить, что ...

Ответ дай на русском языке, обращайся на 'Вы'.

Параметры запроса к YandexGPT: temperature = 0.3 – низкая «температура» обеспечивает более предсказуемые и строгие ответы (меньше креативности), maxTokens = 300 – ограничение длины ответа, stream = false – получение ответа целиком, а не по частям. После получения ответа от YandexGPT в формате JSON выполняется его парсинг:

```
{
  "result": {
    "alternatives": [
      {
        "message": {
          "text": "Оценка: 3 из 3. Вы хорошо описали…"
        }
      }
    ]
  }
}
```

Из JSON извлекается текст ответа (text), который затем возвращается клиенту в виде объекта:

```
public record AnswerRequest(string Question, string Answer);
public record AIResponse(string Feedback);
```

API-ключ был скопирован в файл appsettings.json, идентификатор каталога из URL консоли использован для указания рабочего каталога:

```
{
  "YandexGPT": {
    "ApiKey": "полученный-API-ключ",
    "FolderId": "идентификатор-каталога"
  }
}
```

В результате был реализован интеграционный уровень архитектуры, обеспечивающий отделение клиентской логики от внешних сервисов (клиентский код не знает о деталях реализации YandexGPT), безопасное хранение API-ключей (ключи хранятся на сервере в конфигурации и не передаются клиенту), асинхронное взаимодействие (запросы к ИИ не блокируют работу приложения) и возможность замены YandexGPT на другой сервис ИИ без изменения клиентского кода, достаточно изменить реализацию адаптера. Пример тестирования студента показан на рис. 2-3.

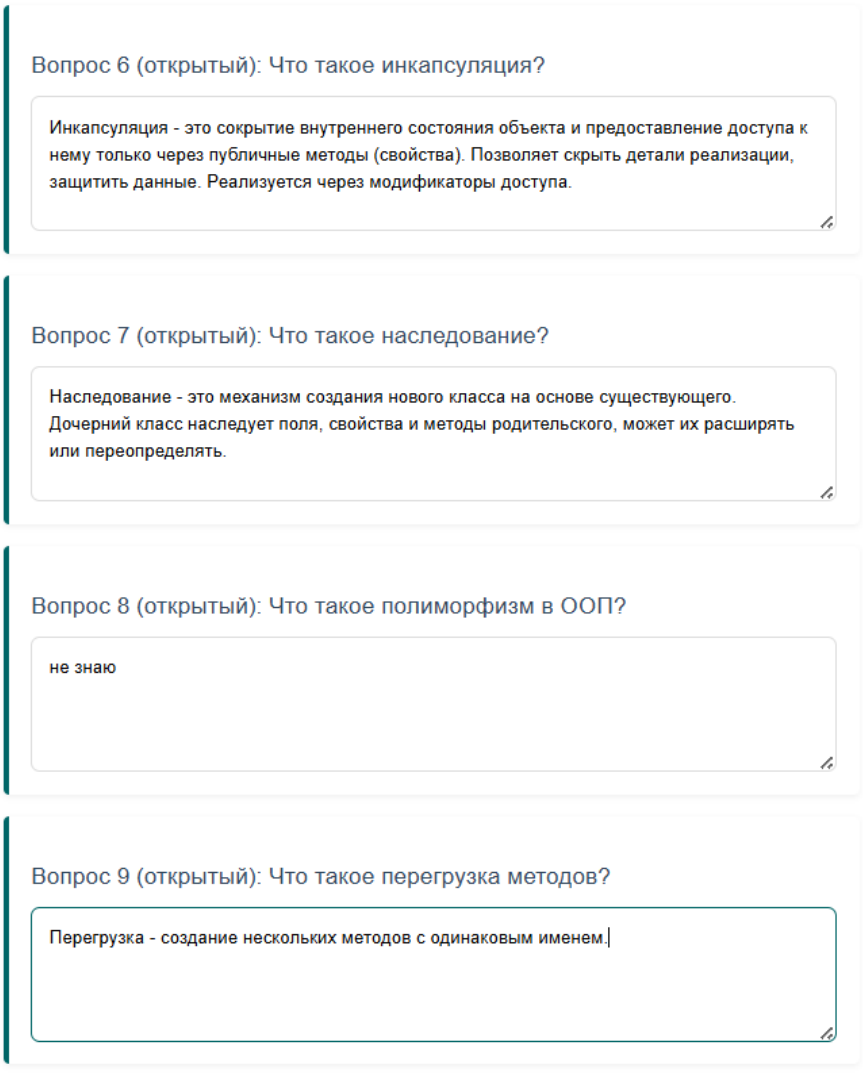


Рис. 2. Ответы на открытые вопросы

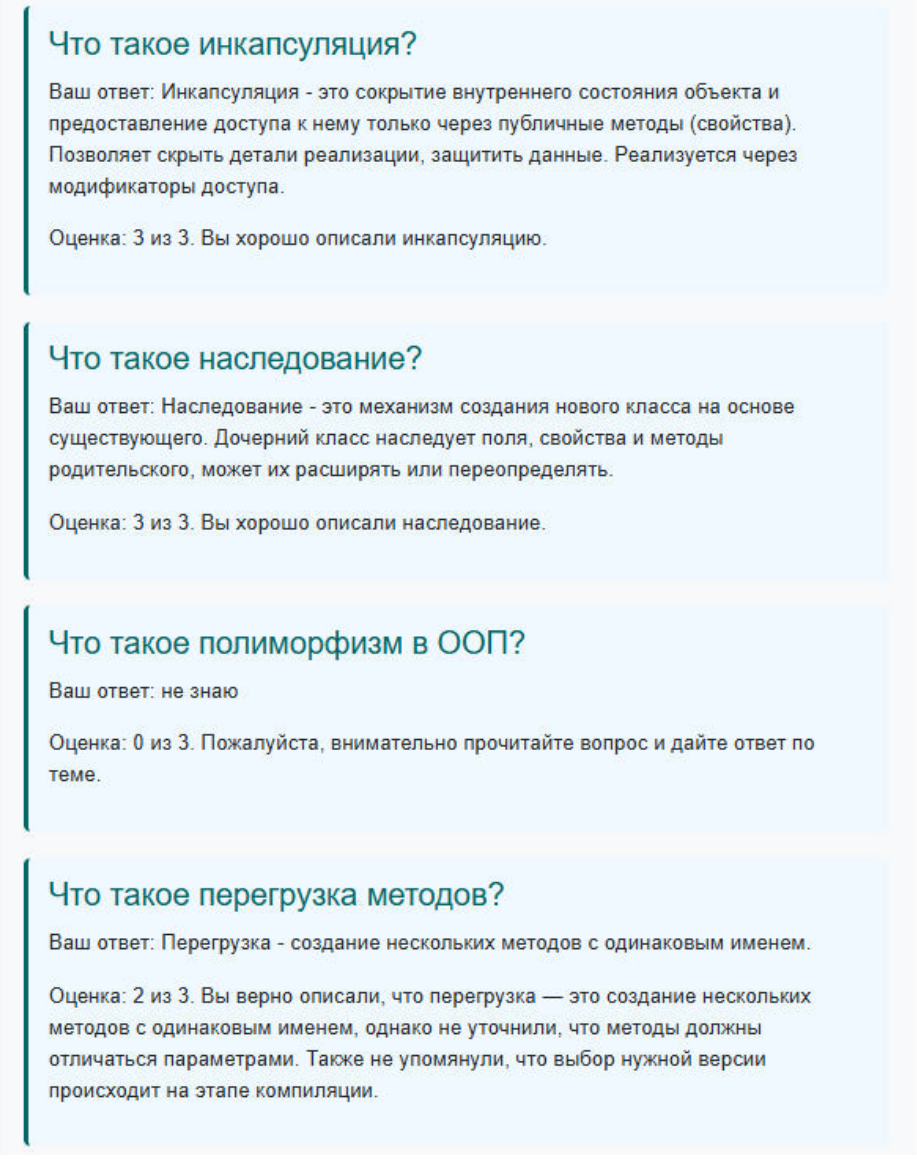


Рис. 3. Результат проверки открытых вопросов

Интеграция с YandexGPT позволила добавить функциональность автоматической проверки открытых ответов, что значительно расширяет возможности тестирования и делает его более интерактивным. Использование облачного сервиса Yandex Cloud обеспечивает доступность и масштабируемость решения без необходимости развертывания собственных вычислительных мощностей.

Таким образом, современные большие языковые модели (LLM), в частности YandexGPT, могут успешно применяться для оценки развёрнутых открытых ответов в тестировании. ИИ способен не только констатировать правильность или ошибочность ответа, но и выступать в роли доброжелательного экзаменатора: выделять сильные стороны ответа, мягко указывать на недочёты и давать рекомендации.

Как отмечает автор в своей работе [1]: «Наиболее перспективным направлением представляется развитие «гибридного интеллекта» – симбиоза искусственного и человеческого разума, где технологии берут на рутинные операции, а люди сосредотачиваются на творческих, исследовательских и воспитательных задачах».

Предложенное решение – инструмент, который дополняет преподавателя, беря на себя техническую часть оценки знаний. Можно адаптировать степень строгости ИИ под свои требования – от максимально лояльного (поощряющего любые попытки ответа) до строгого

(требующего точного совпадения с эталоном). Это достигается за счёт изменения параметров запроса (temperature) и формулировки промпта, что позволяет настроить систему под специфику дисциплины, уровень подготовки студентов и конкретные образовательные задачи.

Практическая значимость решения заключается в возможности его внедрения в образовательный процесс: тестирования, проведение массовых зачетов и экзаменов, тренажеры для самостоятельной подготовки с мгновенной проверкой. Такие инструменты позволяют существенно снизить нагрузку на преподавателей, автоматизировать рутинные процессы проверки, обеспечить мгновенную обратную связь для студентов и проводить объективную оценку знаний для больших потоков обучающихся. Это особенно актуально в условиях цифровой трансформации образования, где требования к скорости, масштабируемости и доступности учебных ресурсов постоянно возрастают.

Список литературы

1. Нечепуренко, М. Ю. Будущее образования с ии: трансформация системы образования и новые возможности для студентов и преподавателей / М. Ю. Нечепуренко, Т. В. Фоменко, Е. Е. Лепеха // Дистанционные образовательные технологии : Сборник трудов X Международной юбилейной научно-практической конференции, Ялта, 16–18 сентября 2025 года. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2025. – С. 236-239. – EDN WOEICK.

2. Миллер, Н. В. Интеграция ИИ в современное образование: функции, проблемы, перспективы / Н. В. Миллер // Информационные технологии и информационная безопасность в профессиональной деятельности: Сборник научных статей V Межвузовской научно-практической конференции с международным участием, Новосибирск, 04 февраля 2026 года. – Новосибирск: Новосибирский военный институт им. генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации, 2026. – С. 104-107. – EDN YUFHYX.

3. Назирова, А. М. Феноменология и типология популярных промтов для генеративного искусственного интеллекта / А. М. Назирова, В. Ю. Мягкова // Язык как основа современного межкультурного взаимодействия : Материалы XII Международной научно-практической конференции, Пенза, 28 ноября 2025 года. Том 2. – Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2025. – С. 182-186. – EDN DSTCXL.

УДК 37.01:378

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ В КОНТЕКСТЕ ВЫЗОВОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

Любягина О.А., к.пед.н., доцент, исполняющая обязанности заведующего кафедрой информационных систем и фиджитал спорта;
ORCID: 0000-0003-3735-8543;
Разяпов И.Г., к.т.н., старший преподаватель ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия

DIGITAL TECHNOLOGIES IN EDUCATION: TRANSFORMATION OF THE PEDAGOGICAL PARADIGM IN THE CONTEXT OF THE CHALLENGES OF TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY

Lyubyagina O.A., PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Information Systems and Phygital Sports;
ORCID: 0000-0003-3735-8543;
Razyapov I.G.,PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена исследованию интеграции цифровых технологий в образовательный процесс. В работе на основе системного анализа отечественных и зарубежных публикаций последних лет рассматриваются ключевые тренды цифровой трансформации образования: персонализация обучения с использованием больших данных, внедрение систем искусственного интеллекта, геймификация, микрообучение, технологии виртуальной и дополненной реальности, а также формирование цифровой грамотности педагогов как необходимое условие эффективного использования цифровых инструментов. Особое внимание уделяется новым дидактическим функциям искусственного интеллекта – верификации поисковых запросов, промптингу как педагогическому приёму, делегированию рутинной нагрузки преподавателя и условиям их этичного применения. Автором выявляются и систематизируются проблемы и риски цифровизации образовательной среды: фрагментация знаний, снижение критического мышления, девальвация живого опыта, делегирование ответственности цифровым системам, а также обосновывается необходимость сохранения баланса между технологическими инновациями и гуманистической миссией образования. Научная новизна исследования заключается в комплексном анализе противоречия между технологическим потенциалом цифровых инструментов и требованиями к сохранению субъектности участников образовательного процесса в условиях цифровой трансформации; в отличие от большинства работ, акцентирующих либо дидактические преимущества, либо риски цифровизации, предлагается синтез этих подходов через призму педагогической коммуникации. Практическая значимость работы определяется возможностью использования выводов для совершенствования образовательных программ подготовки педагогов, разработки стратегий цифровой трансформации школ и вузов, создания рекомендаций по этичному использованию искусственного интеллекта в преподавании, а также для формирования государственной политики в сфере цифрового образования. Результаты исследования адресованы преподавателям, управленцам в сфере образования, разработчикам образовательных политик и могут служить основой для дальнейших эмпирических исследований по проблемам интеграции цифровых технологий в образовательный процесс.

Ключевые слова: цифровые технологии в образовании, искусственный интеллект, цифровая грамотность педагога, персонализация обучения, цифровая трансформация, педагогическая коммуникация, субъектность участников образовательного процесса, риски цифровизации образования, технологический суверенитет.

Abstract

The article is devoted to the study of the integration of digital technologies into the educational process. Based on a systematic analysis of domestic and foreign publications of recent years, the paper examines key trends in the digital transformation of education: personalization of learning using big data, the introduction of artificial intelligence systems, gamification, microlearning, virtual and augmented reality technologies, as well as the formation of teachers' digital literacy as a necessary condition for the effective use of digital tools. Particular attention is paid to the new didactic functions of artificial intelligence – verification of search queries, prompting as a pedagogical technique, delegation of the teacher's routine workload, and the conditions for their ethical application. The author identifies and systematizes the problems and risks of the digitalization of the educational environment: fragmentation of knowledge, decline in critical thinking, devaluation of live experience, delegation of responsibility to digital systems, and also substantiates the need to maintain a balance between technological innovations and the humanistic mission of education.

The scientific novelty of the research lies in the comprehensive analysis of the contradiction between the technological potential of digital tools and the requirements for preserving the subjectivity of participants in the educational process in the context of digital transformation; unlike most studies that mphasize either on the didactic advantages or on the risks of digitalization, a synthesis of these

approaches is proposed through the prism of pedagogical communication. The practical significance of the study is determined by the possibility of using the conclusions for improving educational programs for teacher training, developing strategies for the digital transformation of schools and universities, creating recommendations for the ethical use of artificial intelligence in teaching, as well as for shaping state policy in the field of digital education. The results of the research are addressed to teachers, education managers, developers of educational policies, and can serve as a basis for further empirical research on the problems of integrating digital technologies into the educational process.

Keywords: digital technologies in education, artificial intelligence, teachers' digital literacy, personalized learning, digital transformation, pedagogical communication, agency of educational process participants, risks of education digitalization, technological sovereignty

Введение

В условиях тотальной цифровизации общественных отношений система образования оказывается перед необходимостью кардинального пересмотра классических дидактических концепций. Интеграция передовых научно-технических разработок в производственные и социальные практики на глобальном уровне делает обязательным применение цифровых средств обучения при подготовке кадров, способных эффективно функционировать в условиях новой технологической реальности. Указанные обстоятельства выводят вопросы цифровизации педагогической сферы из разряда узкопрофессиональных в плоскость общенациональных приоритетов, что подтверждается включением соответствующей тематики в программы ведущих международных научно-практических мероприятий.

На страницах научной периодики последних лет разворачивается широкая полемика относительно многообразных проявлений цифровой трансформации образования – от философско-методологических оснований применения электронных средств до конкретных итогов их опытного внедрения в реальную педагогическую практику [1-4]. Согласно позиции ряда авторов, обращение к комплексу отечественных и зарубежных теоретических наработок по спорным аспектам эксплуатации цифрового инструментария в обучении даёт возможность объективно оценить как бесспорные преимущества, так и потенциальные угрозы, которые несёт с собой этот вектор развития образования.

Особую значимость приобретают исследования, направленные на формирование готовности будущих педагогов к организации цифрового обучения, поскольку именно компетентность преподавателя является ключевым фактором эффективности использования цифровых инструментов в образовательном процессе.

Цель настоящего исследования заключается в системном анализе современного состояния и перспектив интеграции цифровых технологий в образование, выявлении ключевых противоречий и обосновании направлений развития цифровой образовательной среды. Задачи исследования включают: анализ актуальных тенденций цифровой трансформации образования; оценку потенциала и ограничений применения искусственного интеллекта и других цифровых технологий; исследование проблем формирования цифровой компетентности педагогов; обоснование необходимости сохранения баланса между технологическими инновациями и субъектностью участников образовательного процесса.

Методика исследования

Настоящее исследование выполнено в рамках междисциплинарного подхода, интегрирующего методы педагогики, психологии, информатики и философии образования, что обусловлено сложностью и многогранностью объекта исследования – процесса цифровой трансформации образования.

Основная часть

Цифровая трансформация образования представляет собой системное обновление базовых составляющих образовательного процесса под влиянием технологических, экономических и социальных факторов. В отличие от эволюционной цифровизации, предполагающей

постепенное внедрение отдельных технических средств, трансформация означает качественное преобразование содержания, методов и организационных форм обучения. Как подчеркивают исследователи, сегодня происходит «перераспределение активов», в процессе которого цифровые инструменты (нейросети, образовательные платформы, чат-боты, ИИ-агенты) постепенно «захватывают» пространство образовательных субъектов.

Среди ключевых трендов цифровой трансформации образования следует выделить персонализацию обучения, геймификацию, микрообучение, использование больших данных для моделирования образовательных траекторий, интеграцию искусственного интеллекта и технологий виртуальной реальности [5-8]. В систематическом обзоре зарубежных исследований отмечается, что образование 4.0 характеризуется контекстуализированным и студентоцентрированным обучением, при этом наибольшее внимание исследователей привлекают технологии искусственного интеллекта, интернета вещей, виртуальной и дополненной реальности. Аналитики прогнозируют, что к 2030 г. будущее образования не будет полностью цифровым – доминирующими станут гибридные модели, в которых цифровые инструменты усиливают преимущества личного взаимодействия, а не заменяют его полностью.

Вместе с тем, внедрение цифровых решений в образовательную практику сопряжено с целым комплексом негативных последствий. В работе Пушкарева и Пушкаревой систематизированы ключевые противоречия, касающиеся трансформации познавательных механизмов в условиях цифровизации. Среди наиболее существенных угроз авторы называют дезинтеграцию усваиваемых знаний, перенос ответственности за результаты обучения на автоматизированные системы, ослабление способности к критической оценке информации, уязвимости в сфере информационной безопасности, а также обесценивание непосредственного чувственного опыта. Обозначенные вызовы обусловливают необходимость коррекции привычных педагогических стратегий в сторону более взвешенного подхода [8].

Отдельного внимания в контексте обсуждения цифровых новаций в педагогике заслуживает феномен искусственного интеллекта, который занимает сегодня одну из центральных позиций в экспертных дискуссиях.

Как отмечается в исследовании Ланга, подготовка квалифицированных специалистов в современных условиях становится невозможной без использования цифровых образовательных средств, включая системы искусственного интеллекта [1]. Потенциал применения генеративных нейросетей в самостоятельной подготовке студентов активно исследуется, при этом разработка рекомендаций по этичному и эффективному использованию искусственного интеллекта рассматривается как важная научная задача.

Особый интерес представляет применение искусственного интеллекта для инициирования познавательной активности учащихся. В работе Лаптева и соавторов предложен новый метод, основанный на верификации результатов поисковых запросов к системам искусственного интеллекта, который позволяет развивать критическое мышление и исследовательские навыки обучающихся. Авторы отмечают, что обращение к искусственному интеллекту в учебном процессе не всеми воспринимается позитивно: хорошо известны дискуссии о неэтичности выполнения учебных заданий с помощью ChatGPT и подобных систем. Однако, как подчеркивают исследователи, именно в области работы с системами искусственного интеллекта следует ожидать наибольших педагогических успехов при условии методически грамотного использования.

В контексте педагогической коммуникации Даринская и Оськина выделяют несколько направлений применения искусственного интеллекта [7]: персонализация обучения при сохранении роли педагога как субъекта общения; упрощение сложных учебных текстов с помощью искусственного интеллекта; педагогический контроль при использовании сервисов с искусственным интеллектом; актуализация дидактического потенциала промптинга; делегирование цифровому ассистенту рутинной нагрузки преподавателя. При этом особое внима-

ние уделяется условиям, обеспечивающим безопасность и сохранение субъектности участников образовательного процесса в их взаимодействии с искусственным интеллектом.

Ключевым фактором успешной интеграции цифровых технологий в образовательный процесс является готовность педагогов к работе в цифровой среде [9, 10]. В исследовании Ахметовой и соавторов рассматриваются особенности подготовки будущих педагогов к организации цифрового обучения в школе, при этом цифровое обучение определяется как системное педагогическое и техническое явление, включающее организацию урока с применением различных технологий [2]. Авторы предлагают концепцию формирования цифровой готовности студентов на основе практико-ориентированного подхода, включающего изучение дисциплины «Цифровое обучение в школе» в формате мастер-классов [2].

Исупова и Суворова представляют исследование, направленное на обоснование дифференцированного подхода к преподаванию дисциплины «Цифровые технологии в образовании» [3]. В структуру цифровой грамотности будущих педагогов авторы включают пять компонентов: информационную грамотность (способность работать с информацией, критически оценивать, систематизировать и создавать цифровой контент); компьютерную грамотность (способность решать профессиональные задачи с использованием компьютерной техники и программного обеспечения); медиаграмотность (способность работать с цифровым контентом различных типов); коммуникативную грамотность (способность эффективно общаться через современные цифровые каналы); отношение к технологическим инновациям (способность адаптироваться к новым инструментам). Практическая апробация предложенного подхода подтвердила его результативность: выявление индивидуальных пробелов в сформированности каждого из выделенных компонентов и последующая адресная работа над ними обеспечивают статистически значимый прирост уровня цифровой грамотности у будущих педагогов ($\chi^2 = 9{,}570$; $\alpha < 0{,}05$).

Обращаясь к сфере дополнительного образования детей, Буйлова акцентирует внимание на том, что модернизация образовательной системы предполагает внедрение новых технологических решений, нацеленных на развитие комплекса универсальных навыков – цифровых, технологических и финансовых. Исследовательница обращает внимание на неоднозначность восприятия цифровизации педагогическим сообществом: полный отказ от нововведений чреват застоем, тогда как поспешное и немотивированное внедрение инноваций провоцирует отторжение. В этой связи современная ситуация требует от управленцев и педагогов сочетания решительности и осмотрительности.

Обобщение результатов многочисленных исследований позволяет очертить спектр как препятствий, так и благоприятных возможностей, сопутствующих интеграции цифровых средств в обучение. По справедливому замечанию Ланга, эксплуатация программного обеспечения и цифровых продуктов в педагогической сфере открывает широкие горизонты, однако одновременно содержит в себе серьёзные угрозы [1]. Историческая ретроспектива даёт возможность проследить смену этапов внедрения цифровых технологий в образование, каждый из которых имел собственную специфику и сопряжённые с ним трудности.

В ряду теоретических проблем, отмечаемых специалистами, фигурируют: слабая проработанность методологического фундамента для интеграции электронных средств; разобщённость понятийно-категориального аппарата; рассогласованность классических педагогических концепций с запросами цифровой реальности. К числу прикладных трудностей относятся: дефицит цифровых компетенций у преподавательского корпуса; диспропорции в материально-техническом обеспечении образовательных учреждений; нехватка конкурентоспособного учебного контента в цифровом формате; а также уязвимости, порождаемые угрозами информационной безопасности.

Тем не менее, преодолимость перечисленных барьеров внушает научному сообществу сдержанный оптимизм. Приоритетным вектором признаётся конструирование таких образо-

вательных моделей, где цифровые решения служат усилению достоинств непосредственного человеческого контакта, но не выступают в качестве его суррогата.

На первый план выходит задача сохранения статуса и миссии учителя в контексте технологических сдвигов. Даже в условиях стремительного прогресса информационных систем роль педагога не утрачивает своего значения и остаётся одной из ключевых профессий на обозримую перспективу.

Консервативность системы образования, которая часто критикуется за медлительность, в данном контексте выступает как фактор устойчивости, позволяющий сохранять фундаментальные ценности образования в условиях технологической нестабильности.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что интеграция цифровых технологий в образование является необратимым и многогранным процессом, который затрагивает все уровни образовательной системы – от дошкольного до высшего образования.

Новизна представленного исследования заключается в комплексном анализе противоречий между потенциалом цифровых инструментов и требованиями к сохранению субъектности участников образовательного процесса. В отличие от работ, акцентирующих внимание преимущественно на технологических аспектах, в данном исследовании обосновывается необходимость сохранения баланса между инновациями и гуманистической миссией образования. Выявлено, что эффективность цифровизации образования определяется не столько технологическими характеристиками инструментов, сколько уровнем цифровой грамотности педагогов и методической обоснованностью их применения.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования выводов для совершенствования образовательных программ подготовки педагогов, разработки стратегий цифровизации образования на различных уровнях, а также для дальнейших научных исследований по проблемам интеграции цифровых технологий в образовательный процесс. Результаты исследования могут быть использованы при разработке рекомендаций для образовательных организаций, внедряющих цифровые технологии, и для формирования государственной политики в сфере цифровой трансформации образования.

Список литературы

1. Ланг, П. П. Использование программных продуктов и цифровых технологий в образовательной деятельности: теоретический анализ и постановка проблемы / П. П. Ланг // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2025. – № 6. – С. 53–65.

2. Ахметова, Г. Б. Цифровое обучение в школе: готовность будущих педагогов / Г. Б. Ахметова, А. И. Тажигулова, Ж. Б. Ахметова // Известия. Серия: Педагогические науки. – 2025. – № 2 (77).

3. Исупова, Н. И. Формирование компонентов цифровой грамотности будущих педагогов в ходе изучения общеуниверситетской дисциплины «Цифровые технологии в образовании» / Н. И. Исупова, Т. Н. Суворова // Вестник РУДН. Серия: Информатизация образования. – 2024. – Т. 21, № 4. – С. 434–447.

4. Черных, С. И. Стратегии развития обучения в области формирования цифровой культуры / С. И. Черных // Философия образования. – 2025. – № 2. – С. 115–127.

5. Rafiq J. E., Namir A., Zakrani A., Amraouy M., Bennane A. A Systematic Mapping Study of the Evolution of Educational Practices Using Disruptive Digital Technology // Journal of Educators Online. – 2025. – Vol. 22, № 1.

6. Лаптев, В. В. Верификация результатов поисковых запросов систем искусственного интеллекта как средство инициирования познавательной активности учащихся в общеобразовательном курсе физики / В. В. Лаптев, Л. А. Ларченкова, А. А. Лоза // Открытое образование. – 2025. – Т. 29, № 4. – С. 29–45.

7. Даринская, Л. А. Цифровизация педагогической коммуникации в эпоху искусственного интеллекта: аналитический обзор / Л. А. Даринская, А. Н. Оськина // Педагогика. – 2025. – № 2.

8. Пушкарёв, Ю. В. Цифровые трансформации системы образования: тенденции, проблемы, приоритеты личностного развития (обзор) / Ю. В. Пушкарёв, Е. А. Пушкарёва // Science for Education Today. – 2025. – № 6. – С. 71–96.

9. Буйлова, Л. Н. От традиционной к цифровой трансформации дополнительного образования детей: основные направления, трудности и перспективы / Л. Н. Буйлова // Про ДОД. – 2025. – № 11.

10. Разяпов, И. Г. Искусственный интеллект в преподавательской деятельности: Создание дифференцированных образовательных материалов для гибридной среды (на примере нейросетевой платформы «Гигачат») / И. Г. Разяпов, О. А. Любягина // Иностранный язык: традиции, опыт и инновации: Материалы III Международной научно-практической заочной конференции, Казань, 25 декабря 2025 года. – Казань: Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 2026. – С. 199-202.

УДК 316.334.52

УДОВЛЕТВОРЕННОСТЬ ДОСТУПНОСТЬЮ И КАЧЕСТВОМ ОКАЗАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ УСЛУГ ПО ЛИНИИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ГОСАВТОИНСПЕКЦИИ МВД ПО РТ

Маврин О.В., к.с.н., доцент кафедры конфликтологии;
ORCID: 0000-0002-4421-0478;
E-mail: mavrin_oleg@list.ru;
Павлова В.А., старший преподаватель кафедры конфликтологии Института социально-философских наук и массовых коммуникаций ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0000-0003-3517-3684;
E-mail: vichka_belova@mail.ru;
Попов В.Н., начальник отдела безопасности дорожного движения ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
E-mail: guncbgd@mail.ru

SATISFACTION WITH THE ACCESSIBILITY AND QUALITY OF PUBLIC SERVICES PROVIDED BY THE UNITS OF THE STATE TRAFFIC INSPECTORATE OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS FOR THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Mavrin O.V., Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor, Department of Conflictology;
ORCID 0000-0002-4421-0478;
E-mail: mavrin_oleg@list.ru;
Pavlova V.A., Senior Lecturer, Department of Conflictology, Institute of Social and Philosophical Sciences and Mass Communications, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID 0000-0003-3517-3684;
E-mail: vichka_belova@mail.ru;
Popov V.N., Head of the Road Safety Department, Scientific Center for Life Safety of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
E-mail: guncbgd@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты эмпирического исследования удовлетворенности доступностью и качеством государственных услуг, предоставляемых подразделениями Госавтоинспекции в Республике Татарстан. Актуальность обусловлена дефицитом специализированных работ, фокусирующихся именно на услугах подразделений Госавтоинспекции, в отличие от обобщённых оценок государственного управления. На основе репрезентативного социологического опроса (n=2000, формализованное интервью) проведена комплексная оценка. Данные свидетельствуют об общей высокой удовлетворенности потребителей как критериями доступности (месторасположение отделений, график работы), так и качеством обслуживания, в первую очередь компетентностью сотрудников. Однако выявлены проблемные зоны: комфортность условий в помещениях, организация очереди и длительное ожидание. В качестве практических рекомендаций предложены меры по оптимизации потоков посетителей, развитию дистанционных форматов услуг и запуску целевых информационных кампаний по популяризации цифровых сервисов.

Ключевые слова: государственные услуги, удовлетворенность государственными услугами, качество услуг ГИБДД, доступность услуг ГИБДД, социологическое исследование, мониторинг общественного мнения, эффективность государственных услуг, цифровизация

Abstract

This article presents the results of an empirical study examining satisfaction with the accessibility and quality of public services provided by traffic police departments in the Republic of Tatarstan. The relevance of the study stems from the lack of specialized studies focusing specifically on traffic police services. A comprehensive assessment was conducted using a representative sociological survey (n=2000, formalized interview). The data demonstrate overall high customer satisfaction with both accessibility criteria (office location, opening hours) and service quality, primarily the competence of staff. However, problem areas were also identified: the comfort of the premises, queue management, and long wait times. Practical recommendations include measures to optimize visitor flows, develop remote service formats, and launch targeted information campaigns to popularize digital services.

Keywords: public services, satisfaction with public services, quality of traffic police services, accessibility of traffic police services, sociological research, public opinion monitoring, efficiency of public services, digitalization

Качественное оказание государственных услуг играет ключевую роль в обеспечении прав и свобод граждан и в формировании доверия к органам государственной власти. В Российской Федерации повышение качества и доступности государственных услуг выдвигается одним из основных направлений совершенствования сферы государственного управления. Процесс оказания услуг населению динамичен и сопряжён с большим количеством неформализуемых проблем социальной сферы, которые пока мало изучены, – поэтому важен постоянный мониторинг социальных процессов в обществе в целом и в регионах [1].

Актуальность мониторинга общественного мнения по вопросам доступности и качества услуг ГИБДД обусловлена рядом факторов. Во-первых, несмотря на усилия государства по цифровизации [2] и оптимизации административных процедур, многие граждане продолжают сталкиваться с трудностями: долгими очередями, недостаточной информированностью о процессах, неполным удовлетворением от получаемых услуг [3]. Во-вторых, уровень доверия к предоставляющим их учреждениям напрямую влияет на социальную стабильность и качество жизни. В рамках административной реформы 2004 г. [4] началась трансформация взаимоотношений «государство – гражданин», но и сегодня сфера продолжает развиваться, в том числе по линии подразделений ГИБДД, что подтверждает необходимость регулярных замеров удовлетворённости.

Степень научной разработанности вопроса в последние годы выросла, однако исследования чаще ограничиваются отдельными сферами (образование, здравоохранение) или носят обобщённый характер, не учитывая специфику деятельности подразделений ГИБДД, которая остаётся недостаточно изученной теоретически и методически. Таким образом, проблема удовлетворенности доступностью и качеством услуг подразделений Госавтоинспекции требует дополнительного исследования.

Объект исследования – государственные услуги по линии подразделений ГИБДД.

Предмет исследования – удовлетворенность доступностью и качеством их оказания.

Гипотеза исследования – потребители государственных услуг по линии подразделений ГИБДД удовлетворены доступностью и качеством их оказания.

Цель исследования – выработка мер, направленных на повышение эффективности предоставления государственных услуг.

Задачи:

1) оценить уровень удовлетворенности доступностью оказываемых услуг;

2) оценить уровень удовлетворенности их качеством.

Научная новизна – исследования заключается в комплексном подходе к оценке качества и доступности услуг подразделений Госавтоинспекции через призму общественного мнения и верификации гипотезы о высокой удовлетворённости на региональном материале.

Методы – общелогическая группа (теоретический подход) и эмпирические (опрос в виде формализованного интервью).

Теоретико-методологические основы исследования

Социологический анализ государственных услуг приобретает особую значимость в связи с ростом потребности в них населения и их влиянием на социальные отношения и стабильность общества. С точки зрения законодательства административная реформа 2003–2004 гг. [4] закрепила разделение функций управления и предоставления услуг; правовые основы системы определены Федеральным законом № 210-ФЗ от 27.07.2010 [5], а их дальнейшее развитие – Федеральным законом № 509-ФЗ от 30.12.2020 [6]. Все эти меры направлены на повышение удовлетворенности получателей услуг.

Под «государственной услугой» мы понимаем деятельность, направленную на исполнение функций органов власти, реализуемая по запросам заявителей в пределах полномочий, установленных нормативными правовыми актами РФ и её субъектов [7]. Показатель качества оказания услуг обусловлен трудностями обобщения, формализации и унификации оценочных критериев, а также выбором методов их измерения [8]. Так, ГОСТ Р 50646-2012 «Услуги населению. Термины и определения» [9] предлагает классификацию показателей качества по оцениваемым свойствам услуги: показатели назначения, безопасности, профессионального уровня персонала, надежности. В числе ключевых выделяются: своевременность предоставления услуги согласно административному регламенту; минимально возможное число взаимодействий заявителя с должностными лицами; отсутствие обоснованных жалоб на действия (бездействие) и некорректное отношение должностных лиц; доступность информации о сроках, порядке и необходимых документах; отсутствие нарушений установленных сроков; отсутствие удовлетворённых жалоб на решения территориальных органов МВД [10]. Согласно Указу Президента РФ от 07.05.2012 № 601, целевые показатели качества оказания государственных и муниципальных услуг должны достигаться поэтапно [11].

Удовлетворенность – субъективное ощущение человеком полноты реализации своих потребностей в данных условиях, формирующее определённый тип поведения и отношения к окружающему миру. Оценка уровня удовлетворенности доступностью и качеством предоставления государственных услуг – среднее значение степени удовлетворенности, получаемое на основе ответов респондентов.

Материалы и методы

Эмпирическая часть исследования реализована в октябре 2024 года. Основной метод сбора первичной информации – формализованное интервью по анкете «Мониторинг обще-

ственного мнения по вопросам доступности и качества оказания государственных услуг по линии подразделений ГИБДД». Данные обработаны в IBM SPSS Statistics.

Выборочная совокупность – многоступенчатая, квотная, с вероятностным отбором на завершающем этапе. Объём – 2000 респондентов: жители Республики Татарстан в возрасте от 18 лет и старше, получившие государственную услугу в подразделениях Госавтоинспекции МВД по РТ. Среди них представлены обращающиеся в регистрационные (70%) и экзаменационные (30%) подразделения. Социально-демографический профиль выборки сведён в таблицу 1.

Таблица 1

Социально-демографический профиль респондентов (n=2000)

Признак	Распределение
Возраст	31–45 лет – 40,2%; 18–25 лет – 31,7%; 21–30 лет – 16,9%
Пол	женщины – 62,5% (1249); мужчины – 37,6% (751)
Место жительства	город < 100 тыс. – 58,6%; город > 1 млн – 20,5%; город > 100 тыс. – 21%
Образование	высшее – 50%; среднее профессиональное – 28,2%; основное общее (9 кл.) – 12%; неоконченное высшее – 5,9%; среднее общее (11 кл.) – 4,1%
Стаж вождения	более 10 лет – 33,9%; менее 1 года – 30,3%; 5–10 лет – 15,1%; до 3 лет – 14,7%; 3–5 лет – 6,2%

Результаты

Участникам мониторинга было предложено оценить ряд критериев относительно подразделения Госавтоинспекции, в котором они получали услугу.

Больше половины опрошенных (58,9%) оценили удовлетворённость местом размещения учреждения на «отлично», ещё четверть (24,7%) – на «хорошо»; не удовлетворены не более 5,1% («плохо» – 2,7%, «очень плохо» – 2,4%). Графиком работы удовлетворены 56,7% («отлично») и 24,7% («хорошо»), не удовлетворены не более 5,7% («плохо» – 2,8%, «очень плохо» – 2,9%). Комфортом условий в помещении удовлетворены 50,8% («отлично») и 26,4% («хорошо»), не удовлетворены не более 8,7% («плохо» – 5,1%, «очень плохо» – 3,6%). Средние баллы: место размещения – 4,35; график работы – 4,29; комфорт предоставления услуги – 4,16. Таким образом, в большей степени получатели услуг удовлетворены местоположением организации и графиком работы, в меньшей – комфортностью помещений.

Организацией очереди удовлетворены 73,4% респондентов. Среди неудовлетворённых 55,1% недовольны длительным ожиданием (более 1 часа), 22,7% – ожиданием 15–60 минут, 21,8% указали на нехватку места для ожидания. В совокупности на время ожидания приходится 77,8% жалоб, на нехватку места – 21,8%.

В сфере уровня обслуживания со стороны сотрудников 56,3% оценили вежливость на «отлично», 24,4% – «хорошо», 13% – «удовлетворительно», не удовлетворены не более 6,5% («плохо» – 4%, «очень плохо» – 2,5%), средний балл – 4,28. Компетентность сотрудников оценили на «отлично» 59,5%, «хорошо» – 25,7%, «удовлетворительно» – 11%, не удовлетворены не более 3,9% («плохо» – 2%, «очень плохо» – 1,9%), средний балл – 4,39. Следовательно, в большей степени получатели услуг удовлетворены компетентностью сотрудников (4,39), в меньшей – вежливостью (4,28).

Использование цифровых и альтернативных каналов, а также факты получения услуги сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Каналы взаимодействия и результативность обращений

Показатель	Значение
Предварительная запись через ЕПГУ	Использовали – 69,4%
Причины отказа от записи через ЕПГУ	Нет времени ждать – 55,4%; не знают, как подать заявление – 40,5%
Запись на услугу по телефону	Использовали – 34,8%; не использовали – 65,3%
Предварительная консультация по телефону	Использовали – 35,3%; не использовали – 64,8%
Получение услуги с первого раза	70,6%
Повторное обращение	1 раз – 23,4%; 2 раза и более – 6%
Навязывание услуг коммерческих организаций у здания ГИБДД	Предлагали – 20,7%; не предлагали – 79,4%

Отдельно респондентам было предложено оставить предложения по совершенствованию предоставления услуг подразделениями Госавтоинспекции. Большинство указало, что их в целом всё устраивает; часть респондентов высказала предложения: сократить время ожидания услуги; сделать зал ожидания более комфортным; увеличить количество окон; решить вопрос с очередями; продлить время работы; сделать услугу дистанционной, без посещения подразделения Госавтоинспекции.

Мониторинг октября 2024 г. был проведён для анализа удовлетворенности доступностью и качеством оказания услуг подразделениями Госавтоинспекции Республики Татарстан. В целом опрошенные удовлетворены и доступностью, и качеством предоставляемых услуг: удовлетворённость местом размещения составила 4,35 балла (83,6%), графиком работы – 4,29 балла (81,4%), комфортностью предоставления услуги – 4,16 балла (77,2%). Высоко оценены компетентность сотрудников – 4,39 балла (85,2%) и вежливость – 4,28 балла (80,7%).

Организацией очереди удовлетворены 73,4%, при этом среди неудовлетворённых большинство (77,8%) недовольно временем ожидания, а часть (21,8%) – нехваткой мест для ожидания. Услуга предварительной консультации по телефону востребована лишь примерно у трети опрошенных (35,3%); вероятно, сказывается удобство расположения подразделений. Запись через ЕПГУ используют чаще (69,4%), чем запись по телефону (34,8%); чаще всего от записи через ЕПГУ отказываются из-за длительного ожидания (55,4%) или незнания процедуры (40,5%), что указывает на потребность в консультанте, поясняющем гражданам порядок подачи заявления через портал. Подавляющее большинство (70,6%) получили услугу с первого раза; требует отдельного изучения причина повторных обращений четверти опрошенных (23,4%). Большинство граждан (79,4%) отметили, что им не навязывали услуги коммерческих организаций вблизи здания подразделений Госавтоинспекции.

Таким образом, исходная гипотеза о высокой удовлетворённости потребителей подтверждается: доминируют положительных оценки по всем ключевым критериям (средние баллы 4,16–4,39). Проблемными зонами выступают организация очереди, комфорт помещений и недостаточная информированность о возможностях ЕПГУ. Скорость возникновения ощущения удовлетворённости социальной средой зависит от того, насколько сильно человек ощущает воздействие этой среды, – поэтому точечные улучшения в перечисленных зонах способны заметно повысить общую оценку.

Социологический анализ государственных услуг в системе обслуживания населения завоёвывает всё большую значимость: процесс их предоставления динамичен и сопряжён

с широким спектром неформализуемых проблем социальной сферы, многие из которых недостаточно изучены. В этой связи особую значимость приобретает систематический мониторинг социальных процессов как на уровне общества в целом, так и на региональном уровне, позволяющий определить научно обоснованные перспективы социального развития.

По результатам теоретического и эмпирического анализа сформулированы рекомендации по повышению уровня удовлетворенности доступностью и качеством услуг подразделений Госавтоинспекции:

1. Создать условия для сокращения времени ожидания и снижения очередей за счёт увеличения числа рабочих окон, улучшения условий нахождения в помещении или продления времени работы подразделений, в которых чаще всего образуются очереди.

2. Рассмотреть передачу части услуг на аутсорсинг организациям, способным оперативно, вежливо и компетентно обслуживать граждан, не удовлетворённых ожиданием [10].

3. Разработать и продвигать информационную кампанию, доступно объясняющую гражданам возможности Единого портала государственных услуг.

4. Разработать мобильное приложение для дистанционного оформления документов без посещения подразделений Госавтоинспекции и кампанию по его популяризации.

Предложенный методологический подход, базирующийся на расширенном эмпирическом представлении об удовлетворённости, продемонстрировал продуктивность: основная гипотеза подтверждена, что допускает дальнейшее использование подхода в мониторинговых замерах.

Список литературы

1. Лавров А.М., Солянникова С.П., Тюриков А.Г. Социальный заказ в Российской Федерации: новый инструмент бюджетной политики в социальной сфере // Финансы: теория и практика. – 2024. – №6. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnyy-zakaz-v-rossiyskoy-federatsii-novyy-instrument-byudzhetnoy-politiki-v-sotsialnoy-sfere (дата обращения: 13.05.2026). Lavrov A.M., Solyannikova S.P., Turikov A.G. Social order in the Russian Federation: A new tool of budgetary policy in the social sphere. Finance: Theory and Practice. 2024; 28 (6): 6-16. (In Russ.). DOI: 10.26794/2587-5671-2024-28-6-6-16

2. Бубнов С. В. Цифровизация предоставления государственных услуг ГИБДД // Вестник экономической безопасности. – 2023. – №6. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-predostavleniya-gosudarstvennyh-uslug-gibdd-1 (дата обращения: 13.05.2026). Bubnov S.V. Digitalization of the provision of traffic police services. Bulletin of Economic Security. 2023; (6): 23-26. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2414-3995-2023-6-23-26. EDN: TOZRKL.

3. Прокопов М. С. Цифровизация предоставления государственных услуг ГИБДД // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина. – 2021. – №6 (82). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-predostavleniya-gosudarstvennyh-uslug-gibdd (дата обращения: 13.05.2026). Prokopov M.S. Digitalization of the provision of gibdd public services // Courier of the Kutafin Moscow State Law University (MSAL). – 2021. – № 6 (82).

4. Указ Президента РФ от 23.07.2003 № 824 «О мерах по проведению административной реформы в 2003–2004 годах». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43462/ (дата обращения: 09.11.2025). Decree of the President of the Russian Federation of July 23, 2003 № 824. (In Russ).

5. Федеральный закон «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг» от 27.07.2010 № 210-ФЗ (последняя редакция). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103023/ (дата обращения: 09.11.2025). Federal Law No. 210-FZ dated July 27, 2010. (In Russ).

6. Терещенко Л.К. Государственные и муниципальные услуги: проблемы правоприменения // Журнал российского права. 2018. №10 (262). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennye-i-munitsipalnye-uslugi-problemy-pravoprimeneniya (дата обращения:

13.05.2026). Tereshchenko L.K. State and Municipal Services: Law Enforcement Issues // Journal of Russian Law. 2018. No. 10 (262).

7. Латыпова Л.В. Методики оценки качества предоставляемых услуг [Электронный ресурс]. – URL: http://moeobrazovanie.ru/edu/library/metodiki_otcenki_kachestva_predostavlyaemih_uslug_211011.html (дата обращения: 15.11.2025). Latypova L.V. Methods for Assessing the Quality of Services Provided. (In Russ).

8. Приказ МВД России от 31.12.2017 № 984 (с изм. от 28.10.2024) «Об утверждении Административного регламента Министерства внутренних дел Российской Федерации по предоставлению государственной услуги по регистрационному учету граждан Российской Федерации…» (Зарегистрировано в Минюсте России 05.04.2018 № 50635). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_295702/ (дата обращения: 09.11.2025). Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia dated 31.12.2017 № 984. (In Russ).

9. Указ Президента РФ от 07.05.2012 № 601 «Об основных направлениях совершенствования системы государственного управления». http://www.kremlin.ru/acts/bank/35265/ (дата обращения: 09.11.2025). Decree of the President of the Russian Federation dated 07.05.2012 № 601. (In Russ).

10. Золотарева А.Б. Состояние и перспективы развития конкуренции в сфере государственных социальных услуг // Экономическая политика. 2024. Т. 19. № 3. С. 154–181. Zolotareva A.B. Prospects for Encouraging Competition in the Public Social Services Market // Economic Policy. 2024. Vol. 19. № 3. Pp. 154–181. (In Russ).

УДК 37.013.42:004.8

THE PEDAGOGICAL DILEMMA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: BALANCING EDUCATIONAL BENEFITS AND RISKS FOR STUDENTS COGNITIVE DEVELOPMENT

Malkov M.B., Teacher, Media Director, Kazan, Russia,
E-mail: malcolmco@mail.ru

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ДИЛЕММА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: БАЛАНС ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПОЛЬЗЫ И РИСКОВ ДЛЯ КОГНИТИВНОГО РАЗВИТИЯ УЧАЩИХСЯ

Мальков М.Б., преподаватель, медиа-директор, г. Казань, Россия;
E-mail: malcolmco@mail.ru

Abstract

This article devoted to the analysis of the fundamental pedagogical dilemma that arises when integrating artificial intelligence technologies into school education: the tension between enhancing educational effectiveness and preserving students' cognitive potential. Based on a critical review of contemporary research and analysis of a Russian case study (M.B. Malkov`s project on creating a book by children with mental disabilities using AI), a universal model of the “Pedagogical Pendulum” has been developed. The model represents a system of principles and methodological techniques that allow teachers to flexibly regulate the degree of AI involvement in the educational process depending on the cognitive goals of the lesson, the age characteristics of students, and the subject specificity. Practical implementation tools are proposed: a lesson analysis algorithm, criteria for the cognitive safety of AI tools, and reflective maps for students. The results of the research have theoretical significance for the

development of digital pedagogy and practical value for teachers working in the context of the digital transformation of education.

Keywords: artificial intelligence, education, school students, cognitive development, social inclusion, pedagogical model, digital transformation, personalized learning

Аннотация

Статья посвящена анализу фундаментальной педагогической дилеммы, возникающей при интеграции технологий искусственного интеллекта в школьное образование: конфликту между повышением образовательной эффективности и сохранением когнитивного потенциала учащихся. На основе критического обзора современных исследований и анализа российского кейса (проект Малькова М.Б. по созданию книги детьми с ментальными нарушениями с помощью ИИ) разработана универсальная модель «Педагогического маятника». Модель представляет собой систему принципов и методических приемов, позволяющих учителю гибко регулировать степень участия ИИ в учебном процессе в зависимости от когнитивных целей урока, возрастных особенностей учащихся и предметной специфики. Предложены практические инструменты внедрения: алгоритм анализа урока, критерии когнитивной безопасности ИИ-инструментов, рефлексивные карты для учащихся. Результаты исследования имеют теоретическую значимость для развития цифровой педагогики и практическую ценность для учителей, работающих в условиях цифровой трансформации образования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образование, школьники, когнитивное развитие, социальная инклюзия, педагогическая модель, цифровая трансформация, персонализация обучения

1. Introduction

The rapid penetration of artificial intelligence into everyday life inevitably transforms the educational environment. Today's school student increasingly encounters neural networks capable of generating texts, solving problems, and providing instant answers. Yet behind this apparent efficiency lies a fundamental pedagogical dilemma: how to harness AI's potential for enhancing learning effectiveness without permitting the degradation of students' cognitive skills, such as critical thinking, independent problem-solving capacity, and creative initiative [1].

The spontaneous introduction of educational chatbots and automated assignment-checking systems, particularly in middle and high school, often proceeds without due consideration of age-specific and psychophysiological features of adolescents' cognitive development. This generates the risk of technology transforming from a "mind trainer" into a "cognitive crutch" that undermines academic autonomy [4].

The purpose of this study is to develop and theoretically substantiate the "Pedagogical Pendulum" model-a system of principles enabling teachers to flexibly regulate AI's participation in the learning process. This model aims to ensure balance between educational benefits (personalization, routine automation, expanded knowledge access) and risks to cognitive development.

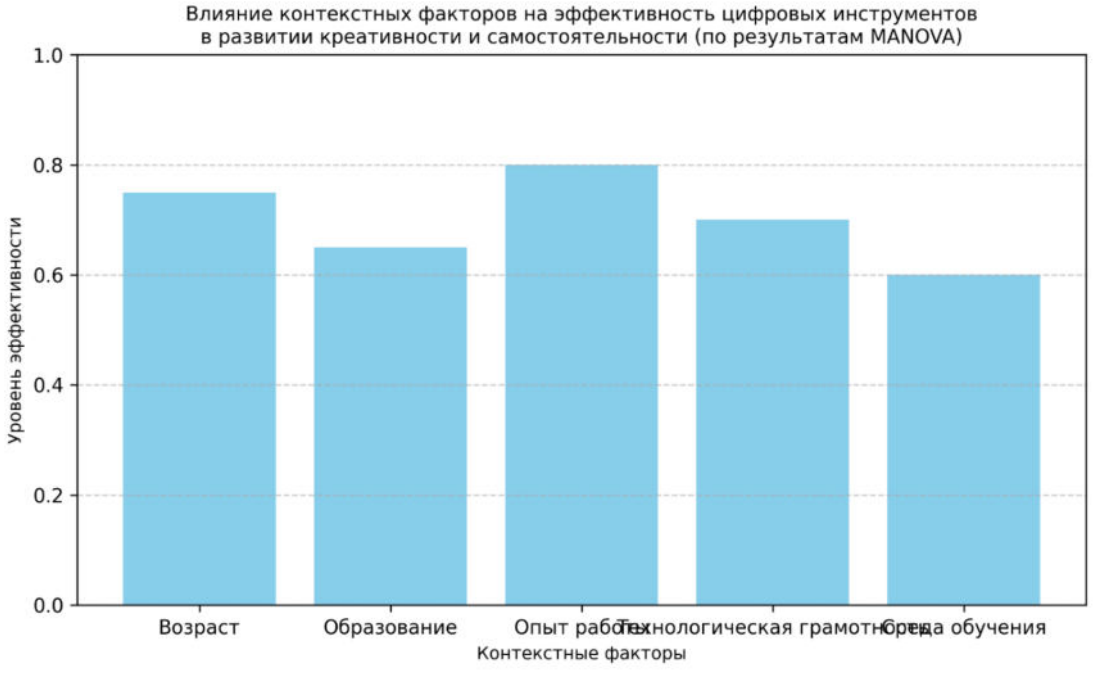
2. The Dual Nature of AI in Education

Personalization represents one of the most significant educational benefits of contemporary digital transformation [13]. Intelligent systems can adapt the pace of material delivery, complexity levels, and task types to individual cognitive characteristics and current needs of each learner. Empirical research confirms that such adaptation increases material assimilation effectiveness by 20–30% compared to traditional unified methodologies [2].

Furthermore, AI enables dramatic acceleration of feedback provision, offering students immediate recommendations for performance improvement. Automation of routine administrative tasks liberates valuable teacher time, allowing focus on more creative and socio-emotional aspects of learning [12].

However, behind these evident benefits lie serious cognitive risks. The primary risk concerns excessive delegation to neural networks of cognitive operations traditionally considered integral to the learning process. When an AI system performs information search, basic computations, or spelling checks on behalf of the student, this may lead to "cognitive atrophy" [4]. Higher mental functions–attention, memory, logical thinking, and particularly critical thinking–develop through active engagement. If this activity is supplanted by passive consumption of ready-made answers, corresponding neural pathways may fail to develop adequately.

Another significant risk is technology dependency formation [7]. Students with access to instant, accurate answers may develop stable patterns of cognitive effort minimization, preferring passive information consumption over active knowledge seeking. This leads to stagnation in independent problem-solving capacity, directly contradicting modern education's objectives focused on developing 21st-century competencies [15].



This dual nature of AI necessitates the educational system's transition from reactive to proactive positioning. Abstract calls for caution or, conversely, wholesale technology adoption must be abandoned. Instead, clear methodological frameworks and practical instruments are required, enabling educators to consciously manage AI's degree of participation in learning. This is precisely where the need arises for a specialized model capable of regulating this balance.

Category	Educational Benefits	Cognitive Risks
Personalization	Adaptation of pace and complexity to individual student needs [13].	Risk of forming a "digital cage" wherein students remain only within familiar complexity levels.
Feedback	Rapid provision of results and recommendations for learning improvement [2].	Formation of dependency on external evaluation; reduced capacity for self-assessment [12].
Automation	Reduced cognitive load through delegation of routine operations [4].	Atrophy of basic skills; risk of technology becoming a "cognitive crutch" [1].
Social Dimension	Opportunities for collaborative project work in digital environments [19].	Social isolation; reduced quality interaction with peers and teachers [20].

3. The Malkov Project: AI of Social Inclusion

Within the broad discussion of risks associated with AI introduction into education, it is critically important to examine its potential as a means for ensuring full inclusion. A key example is the project by Kazan schoolchildren with mental disabilities, demonstrating how AI can become a powerful catalyst for creative self-realization, self-esteem enhancement, and socialization among vulnerable student groups [19, 20].

The project's essence lies in a group of children with mental disabilities, under teacher guidance, utilizing ChatGPT capabilities to create their own book "Invented Stories." This was not merely technical task completion but a deeply personal and creative process. Students employed AI not as a "black box" providing ready answers but as an "instrument for creative self-realization" [19].

The result–a published book with 100 copies–holds immense significance. It constitutes tangible proof of competence, demonstrating real skills and knowledge. The book creation process became a platform for developing key meta-subject competencies. Students learned collaboration, idea-sharing, critical evaluation of AI-generated materials, and refinement toward desired outcomes.

Analysis of this project yields several conclusions directly relevant to the pedagogical dilemma. First, it demonstrates that AI can serve as an effective instrument for inclusive education. For children with various disabilities who may experience difficulties with traditional thought-expression methods, AI assistants can become a "soundtrack" for their thoughts, enabling easy and rapid translation of ideas into textual format [6].

Second, the Malkov project vividly illustrates how AI can foster development not only of subject-specific but also socio-emotional competencies. Creative self-realization, often unattainable for vulnerable students, becomes possible through technological "scaffolding." This positively influences academic motivation and overall performance [7].

Importantly, in this project, AI was employed in supportive modes wherein it served as means rather than end. It assisted students in initiating work and finding relevant information, yet the final product resulted from their own creative volition and effort.

4. The "Pedagogical Pendulum" Model

To resolve the pedagogical dilemma, a universal model termed the "Pedagogical Pendulum" is proposed. This model represents a systemic instrumentarium enabling educators to consciously manage AI's degree of participation. Its theoretical foundation rests on synthesis of Cognitive Load Theory (CLT) and Lev Vygotsky's Zone of Proximal Development (ZPD) [3].

The central model element is the cognitive load scale. Cognitive Load Theory postulates that human working memory possesses limited capacity, and its resources must be efficiently distributed [2]. The "Pedagogical Pendulum" model's key principle holds that higher cognitive load necessitates lesser external assistance, including AI support.

Based on theoretical foundations, the following AI interaction mode typology is proposed:

Mode	Cognitive Load	Teacher Role	Student Autonomy	AI Function
Extended Cognition	Low	High external regulation	Minimal	Information source, inspiration generator [13]
Moderate Support	Medium	Scaffolding provider	Partial	Feedback provider, verifier [2]
Cognitive Partnership	High	Facilitator	High	Joint researcher, discussion partner [3]

– Mode 1: Extended Cognition (low cognitive load). AI serves as a "smart reference" or "inspiration source," expanding students' knowledge horizons and generating new ideas;

– Mode 2: Moderate Support (medium cognitive load). AI functions as "coach" or "verifier," assisting students during task execution through feedback and hints. This mode actively fosters metacognitive skill development [2];

– Mode 3: Cognitive Partnership (high cognitive load). AI becomes "interlocutor" or "joint researcher," participating in complex thought processes. This mode requires high student cognitive maturity and critical evaluation skills [6].

Model effectiveness directly depends on its adaptation to specific conditions. Age group adaptation assumes that for elementary school students (ages 7–9), whose metacognitive skills are still forming, primarily the first and second modes should be employed. For middle school students (ages 10–13), the third mode may be gradually introduced. For high school students (ages 14–17), employing all three modes becomes possible and necessary depending on task complexity [2].

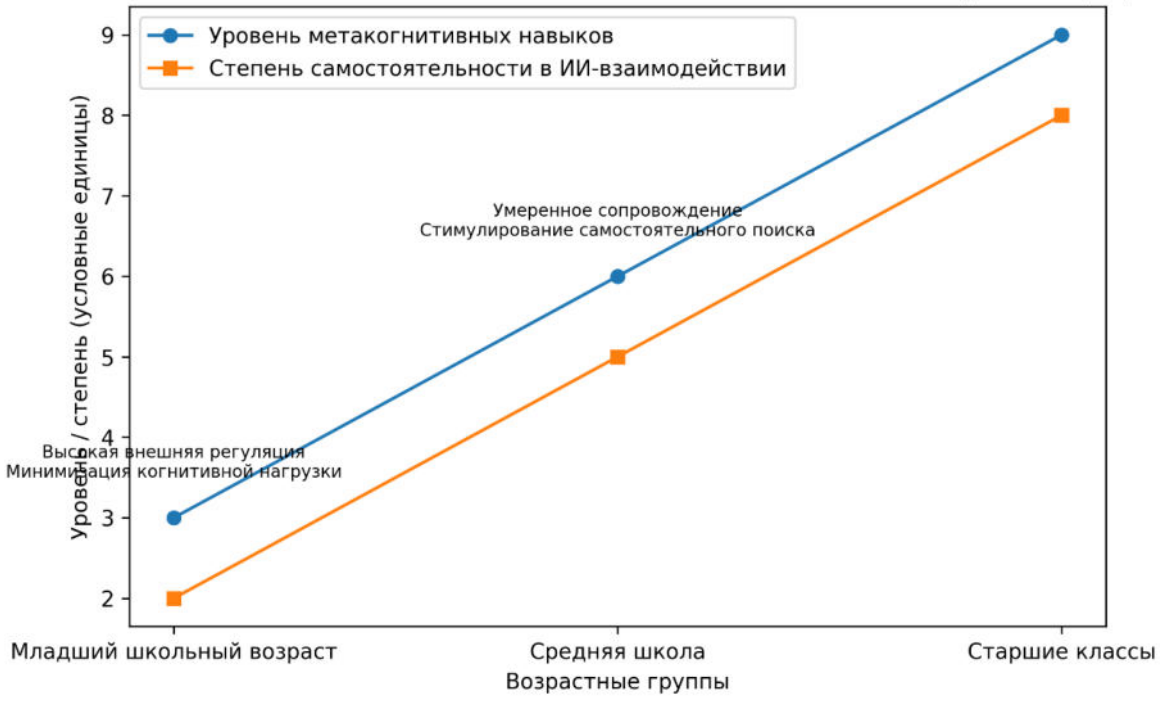


Figure 1 illustrates the progression of metacognitive skill levels and degree of independence in AI interaction from elementary through high school, showing increasing autonomy and cognitive partnership capacity with age.

Subject domain adaptation is equally important. In exact sciences with algorithmic knowledge structures (mathematics, physics), the "cognitive partnership" mode is optimal during solution search phases. In conceptually rich domains (history, literature), AI may serve as an "information field navigator," yet information analysis and synthesis must remain the student's prerogative [13].

5. Practical Implementation

The first instrument is a structured lesson analysis algorithm:

– Educational objective definition. The teacher formulates the result to be achieved and which thought operations must be activated.

– Potential AI contribution mapping. Analysis of what role AI may play and which cognitive operations it will perform.

– Alternatives analysis. Comparison of AI's potential effect with traditional learning methods.

Decision-making and mode selection. Based on preceding steps, selecting the corresponding "Pedagogical Pendulum" mode [4].

Criterion	Description	Assessment Question
Output Transparency	System provides explanations for its choices	Can students understand AI's logic? [1]
Metacognitive Support	Tool fosters reflection skill development	Does AI prompt student thinking? [2]
No Automatic Substitution	AI stimulates rather than replaces cognitive operations	Does student perform key thinking steps? [4]
Interactivity Level	AI use is dialogical rather than unidirectional	Does student actively interact with AI? [13]
Pedagogical Control	Teacher can adjust AI use in real time	Can educator intervene when needed? [3]

Before introducing any new service, teachers should conduct preliminary expertise using these criteria. Key requirements include output transparency, metacognitive strategy support, absence of automatic analytical step substitution, adequate interactivity level, and pedagogical control possibility [1].

Reflective cards for students represent another practical tool. These structured templates prompt students toward conscious analysis of their own learning activities using AI [12]. A typical card includes:

– Process description: Which AI tool was used and for what purpose.
– Thought fixation: Student's own thought steps during task completion.
– Independence assessment: Degree of reliance on AI versus independent work.
– Improvement plan: What worked well and what requires further development.

Applying such cards transforms reflection from an abstract procedure into a concrete, documented process. This helps students form metacognitive control skills and learn critical attitudes toward machine-generated information [12].

6. The Teacher's Role transformation

Artificial intelligence introduction should not be perceived as a threat to the teacher's role. On the contrary, the educator's role becomes more complex and significant. The "Pedagogical Pendulum" model transforms teachers from knowledge transmitters into active cognitive load regulators.

The key new teacher function is that of “cognitive load regulator” [3]. Teachers must diagnose students' cognitive states, determine optimal learning task complexity levels, and dose the degree of assistance AI may provide. This requires deep understanding of subject matter, learning psychology, and neuroscience.

The second crucial function is AI literacy development. In a world where information is generated instantly, the ability to properly formulate questions, critically evaluate responses, and use AI as a tool becomes a key 21st-century competency [15]. Teachers must help students develop critical thinking to distinguish reliable information and understand AI models' limitations [6].

The third function is creating safe educational environments. As the Malkov project demonstrates, AI can become a powerful instrument for vulnerable students [19, 20]. However, this requires skilled educators capable of creating environments wherein AI use is encouraged rather than stigmatized.

Realizing these functions requires continuous professional development. Qualification enhancement in digital technologies, pedagogy, psychology, and ethics is necessary. One key barrier to AI implementation is educators' insufficient media literacy and information culture

levels, alongside heavy workloads [10]. Overcoming these barriers represents a task for the entire educational system.

7. Conclusion

This research confirms that AI introduction into school education represents a profound sociocultural shift requiring fundamental pedagogical principle re-examination. The dilemma lies not in categorical choice between AI "harm" or "benefit" but in seeking managed balance between enhancing educational effectiveness and preserving students' cognitive potential.

The key research result is development of the universal "Pedagogical Pendulum" model. Based on Cognitive Load Theory and Zone of Proximal Development synthesis, the model enables teachers to consciously dose AI participation depending on task types, cognitive objectives, and students' age characteristics [3]. The proposed interaction mode typology provides concrete instruments for such management.

The model's practical significance lies in its applicability at the individual lesson level. Proposed algorithms for lesson analysis, cognitive safety criteria, and student reflective cards create a foundation for widespread balanced approach implementation [12]. The Malkov project example serves as vivid illustration of how AI, used appropriately, can become a powerful instrument for social inclusion and creative self-realization [19, 20].

In conclusion, the proposed model responds to digital-era challenges by learning to collaborate with AI rather than rejecting it. The teacher's role becomes central-transforming from information transmitter into cognitive load regulator, AI literacy mentor, and safe educational environment creator. Successful AI integration depends on the pedagogical system's readiness to adapt, developing new competencies and implementing proven methodologies.

References

1. Другова, Е. А. Развивая цифровую педагогику: вклад образовательного дизайна / Е. А. Другова, С. Б. Велединская, И. И. Журавлева // Вопросы образования. – 2021. – № 4. – С. 333–354. DOI: 10.17323/1814-9545-2021-4-333-354.

2. Кузьминов, Я. И. Отстающие и опережающие: как студенты используют генеративный искусственный интеллект в образовательных целях / Я. И. Кузьминов, Е. В. Кручинская, И. А. Груздев и др. // Высшее образование в России. – 2025. – Т. 34, № 6. С. 9–35. DOI: 10.31992/0869-3617-2025-34-6-9-35.

3. Сулюкова, Л. Ф. Методика оценки имеющегося уровня информационной безопасности образовательной информационной системы / Л. Ф. Сулюкова, Б. А. Ёркулов // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2024. – № 2. – С. 106–114. DOI: 10.24412/2658-4786-2024-2-106-114.

4. Хаджимурадова, А. В. Трансформация функций учителя в условиях цифрового общества: анализ состояния проблемы / А. В. Хаджимурадова // Педагогика. – 2024. – № 4. – С. 96–100. DOI: 10.31857/S0869561X24040123.

5. Храпов, С. А. Философия рисков цифровизации образования: когнитивные риски и пути создания безопасной коммуникативно-образовательной среды / С. А. Храпов, Л. В. Баева // Вопросы философии. – 2021. – № 4. – С. 17–26. DOI: 10.21146/0042-8744-2021-4-17-26.

6. Швецов, Ю. Ю. Когнитивные искажения и проблемное использование интернета у студентов: педагогические меры профилактики [Электронный ресурс] / Ю. Ю. Швецов // Мир науки. Педагогика и психология. – 2024. Т. 12, № 3. – URL: https://mir-nauki.com/PDF/45PSMN324.pdf (дата обращения: 15.05.2026).

7. Широколобова, А. Г. Платформенные образовательные решения как инструмент цифровой дидактики / А. Г. Широколобова // Цифровая гуманитаристика и технологии в образовании (DHTE 2024): сб. статей V Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2024. – С. 249–259. DOI: 10.17759/dhte.2024.5.024.

8. Drucker P. F. Managing in the Next Society. New York: St. Martin's Press, 2002. 304 p. ISBN 978-0312290146.

9. Vygotsky L. S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978. 159 p. ISBN 978-0674576292.

10. Sweller J., van Merriënboer J. J. G., Paas F. Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later // Educational Psychology Review. 2019. Vol. 31, no. 2. P. 261–292. DOI: 10.1007/s10648-019-09465-5.

11. UNESCO. AI and Education: Guidance for Policy-makers [Electronic resource]. Paris: UNESCO Publishing, 2021. URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709 (date of access: 15.05.2026).

12. OECD. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Paris: OECD Publishing, 2023. DOI: 10.1787/c9f4b8f7-en.

УДК 332

ИИ-ПЛАТФОРМА КАК ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКСПОРТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН (НА ПРИМЕРЕ APPLYRUSSIA)

Мингазов А.А., аспирант ГБУ «Центр перспективных и экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-8721-4449;
E-mail: mingazov@maineducation.ru

AI PLATFORM AS A TOOL FOR THE DIGITALIZATION OF EDUCATIONAL SERVICES EXPORT IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN (THE CASE OF APPLYRUSSIA)

Mingazov A.A., Postgraduate Student, Center for Advanced Economic Research, the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-8721-4449;
E-mail: mingazov@maineducation.ru

Аннотация

Настоящая статья посвящена анализу функциональных возможностей и потенциального эффекта ИИ-платформы ApplyRussia в цифровизации экспорта образовательных услуг Республики Татарстан. Актуальность темы определяется государственной задачей увеличения численности иностранных студентов в российских вузах до 500 тыс. человек к 2030 г. и усилением конкуренции регионов за иностранный контингент. Республика Татарстан входит в число регионов-лидеров по темпам роста иностранного контингента. Так, в 2025 г. в вузах республики обучалось около 22,7 тыс. иностранных граждан из 126 стран, а доходы вузов от контрактного обучения иностранцев в 2023 г. достигли 3,8 млрд рублей. Рассмотрены инструменты цифрового продвижения вузов, включая иноязычные версии сайтов, продвижение в социальных сетях, контекстная реклама, дистанционный формат вступительных испытаний, прокторинг при приёме документов. Установлено, что перечисленные инструменты решают задачи привлечения внимания абитуриентов и организационного упрощения поступления, но не устраняют информационную неопределённость на этапе выбора программы и оценки вероятности зачисления или получения государственной стипен-

дии. Проанализирована архитектура ИИ-модуля платформы ApplyRussia, построенного на анализе больших данных об открытых квотах и адаптивных моделях: расчёт вероятности получения стипендии, ранжирование конкурентной позиции абитуриента относительно других претендентов, подбор альтернативных программ и формирование персонализированного маршрута подготовки документов. Определены целевые показатели развития проекта на 2025-2028 гг., включая масштабирование на другие регионы Российской Федерации и построение цифровой экосистемы взаимодействия университетов, абитуриентов и государственных структур. Методологическую основу составили кейс-стади и сравнительный анализ отчётов о самообследовании вузов, официальных материалов мониторинга и технической документации платформы. Сделан вывод о том, что ИИ-платформы образуют новый этап цифровизации экспорта образовательных услуг, дополняющий инструменты цифрового маркетинга количественной персонализированной оценкой перспектив абитуриента и расширяющий конкурентные возможности вузов Республики Татарстан на международном рынке образования.

Ключевые слова: цифровые технологии в образовании, экспорт образовательных услуг, искусственный интеллект, интернационализация высшего образования, Республика Татарстан, Казанский федеральный университет, иностранные студенты, государственная стипендия, big data, персонализация

Abstract

The article analyzes the functional capabilities and potential effect of the AI platform ApplyRussia the digitalization of educational services export in the Republic of Tatarstan. The relevance of the topic is determined by the state task of increasing the number of foreign students in Russian universities to 500 thousand people by 2030 and by growing inter-regional competition for the foreign contingent. The Republic of Tatarstan is among the leading regions in terms of growth rates of the foreign contingent. Thus, in 2025, about 22.7 thousand foreign citizens from 126 countries were studying at universities of the republic, and the income of universities from contract-based education of foreigners in 2023 reached 3.8 billion rubles. The article examines the tools of digital promotion used by universities, including foreign-language versions of websites, social media promotion, contextual advertising, the distance format of entrance examinations, and proctoring during the admission of documents. It is established that the listed tools solve the tasks of attracting applicants' attention and organizational simplification of admission, but do not eliminate informational uncertainty at the stage of selecting the program and assessing the probability of enrollment or receiving a state scholarship. The architecture of the AI module of ApplyRussia platform is analyzed, built on the analysis of big data on open quotas and adaptive models: calculation of the probability of candidates, ranking of the applicant's competitive position, selection of alternative programs, and generation of a personalized document-preparation roadmap. Target indicators for the development of the project's for 2025-2028 are determined, including scaling to other regions of the Russian Federation and building a digital ecosystem of interaction between universities, applicants, and government structures. The methodological basis was formed by case studies and comparative analysis of university self-assessment reports, official monitoring materials, and technical documentation of the platform. It is concluded that AI platforms constitute a new stage in the digitalization of educational services export, supplementing digital-marketing tools with a quantitative personalized assessment of the applicant's prospects and expanding the competitive capabilities of universities in the Republic of Tatarstan in the international education market.

Keywords: digital technologies in education, export of educational services, artificial intelligence, internationalization of higher education, Republic of Tatarstan, Kazan Federal University, foreign students; state scholarship; big data; personalization

Введение

Указ Президента Российской Федерации (далее – РФ) от 7 мая 2018 г. №204 установил задачу удвоить численность иностранных студентов в российских вузах к 2024 г. [1]. Указ от 7 мая 2024 г. №309 скорректировал целевой показатель: к 2030 г. число иностранных обучающихся в российских университетах и научных организациях должно достичь 500 тыс. человек [2]. В 2025 г. в российских вузах обучалось свыше 415 тыс. иностранных студентов, что на 20% превышает уровень пятилетней давности [3].

Республика Татарстан (далее – РТ) входит в число регионов-лидеров по темпам роста иностранного контингента. В 2025 г. в вузах республики обучалось около 22,7 тыс. иностранных граждан из 126 стран, а за пять лет их численность выросла на 22% [4]. Доходы вузов РТ от контрактного обучения иностранцев в 2023 г. достигли 3,8 млрд рублей – почти на 40% больше показателя 2022 г. (2,7 млрд руб.). По объёму поступлений от иностранных студентов вузы РТ обогнали петербургские университеты [5].

Рост экспортных показателей опирается на инструменты цифрового маркетинга: работу с иноязычными версиями сайтов, продвижение в социальных сетях, контекстную рекламу, сотрудничество с блогерами, чат-боты для обработки типовых вопросов абитуриентов [6]. Отдельные вузы РТ внедрили элементы цифрового контроля приёма. Так, Совет ректоров РТ в 2024 г. ввел усиленный контроль за проверкой иностранных абитуриентов через прокторинг и обязательные собеседования, а Казанский государственный медицинский университет (далее – КГМУ) с 2024 г. проводит вступительные экзамены дистанционно в Нью-Дели и Ченнаи, снижая барьер выезда для абитуриентов из Индии [7].

Перечисленные инструменты решают задачу привлечения внимания и организационного упрощения поступления. Задача другого порядка, включая снижение неопределённости для абитуриента на этапе выбора вуза и оценки собственных шансов на зачисление или получение государственной стипендии – остаётся вне зоны действия традиционного цифрового маркетинга. Абитуриент, сравнивающий образовательные системы разных стран, обычно не располагает инструментом количественной оценки вероятности поступления на конкретную программу конкретного университета. Дж. Найт связывает интернационализацию образования с интеграцией международного, межкультурного и глобального измерений в цели, функциональную архитектуру и способы реализации образовательной деятельности [9]. Персонализированная оценка перспектив абитуриента добавляет к этой архитектуре количественный, индивидуализированный слой, отсутствовавший в классических моделях продвижения университетов.

Решение данной задачи предлагает новый класс сервисов – ИИ-платформы персонализированной оценки шансов поступления, работающие на основе анализа открытых данных о квотах и адаптивных моделей. Цель статьи заключается в анализе функциональных возможностей и потенциального эффекта ИИ-платформы ApplyRussia как инструмента цифровизации экспорта образовательных услуг РТ.

Методика

Исследование выполнено методом кейс-стади с элементами сравнительного анализа. Эмпирическую базу составили отчёт о результатах самообследования Казанского (Приволжского) федерального университета (далее – КФУ) за 2024 г. [8], публикации отраслевых и деловых изданий о показателях экспорта образовательных услуг РТ [4, 5, 7], а также презентационные и технические материалы платформы ApplyRussia, подготовленные её автором. Работа опирается на структурно-функциональный анализ архитектуры ИИ-модуля платформы, сравнение функциональных возможностей традиционных инструментов цифрового маркетинга вузов с возможностями ИИ-платформы персонализированной оценки шансов поступления, а также анализ целевых показателей дорожной карты развития проекта на период 2025-2028 гг.

Основная часть

1. Цифровые инструменты продвижения вузов РТ на международном рынке образовательных услуг

Комплекс мер цифрового продвижения российских университетов включает работу с иноязычными сайтами, присутствие в глобальных социальных сетях, контекстную рекламу, таргетинг и сотрудничество с блогерами [6]. Университеты РТ используют перечисленные инструменты неравномерно. Так, КФУ и КГМУ реализуют англоязычные версии сайтов и программы на английском языке по медицине, инженерным и ИТ-направлениям, а отдельные вузы дополняют онлайн-присутствие выездными приёмными кампаниями [7]. КГМУ с 2024 г. проводит вступительные испытания непосредственно в Нью-Дели и Ченнаи, что в 2024 г. привело к зачислению 313 первокурсников из Индии [7]. Доля индийских студентов, обучающихся по медицинским специальностям в вузах РТ, достигает 99%, поскольку диплом англоязычной программы «Лечебное дело» КГМУ признаётся в Индии в рамках межправительственного соглашения [4].

Общая черта перечисленных инструментов – ориентация на массовую коммуникацию. Контент сайта, публикации в социальных сетях и рекламные кампании обращены к широкой аудитории потенциальных абитуриентов без учёта индивидуального академического профиля конкретного человека. Оценка собственных шансов на поступление или получение стипендии остаётся задачей самого абитуриента, который сопоставляет требования разных университетов вручную, опираясь на открытую, но разрозненную информацию о квотах, проходных баллах и критериях отбора.

2. Архитектура и функциональные возможности ИИ-платформы ApplyRussia

ApplyRussia – образовательный сервис, работающий на основе ИИ-модуля MeRussia AI, запатентованного как программа для электронно-вычислительной машины (далее – ЭВМ). Модуль анализирует открытые данные о квотах Правительства РФ на обучение иностранных граждан и применяет адаптивные модели искусственного интеллекта для расчёта индивидуальной вероятности получения государственной стипендии. Архитектура платформы построена на четырёх компонентах: обработка больших данных (big data), нейросетевой анализ, аналитика и персонализация профиля абитуриента.

Пользователь заполняет структурированный профиль, включающий образовательный трек, систему оценивания страны происхождения (например, индийская процентная система CBSE/CISCE), целевое направление подготовки и предпочтительные университеты. На основе профиля платформа рассчитывает Admission Chance Summary – итоговую вероятность зачисления и получения стипендии в процентах, с указанием потенциального прироста вероятности при доработке отдельных элементов профиля. В демонстрационном кейсе абитуриента из Индии, поступающего на направление «Международные отношения», текущая вероятность составляет 19%, потенциальная – 40% при усилении мотивационного письма, портфолио и уровня владения русским языком.

Модуль Competition & Applicant Ranking выстраивает профиль конкуренции. Например, для указанного примера соотношение количества заявок к доступным квотным местам составляет 5:1 при 1277 заявителях и 260 доступных местах, уровень конкуренции определён как средний с интерпретацией «зачисляется только каждый пятый кандидат». Оценка распределена по четырём весовым категориям: академическая база – 35%, мотивация – 30%, языковая подготовка – 25%, портфолио – 10%. Сильные и слабые стороны профиля отражаются раздельно: высокий академический балл добавляет 25 пунктов к итоговой оценке, тогда как слабое мотивационное письмо и отсутствие портфолио снижают её на 20 и 15 пунктов соответственно.

Блок Best Admission Opportunities ранжирует конкретные программы конкретных университетов по вероятности зачисления. Для профиля абитуриента из Индии платформа ука-

зывает направление «Международные отношения» в Уральском федеральном университете с вероятностью 26% (категория «высокий шанс»), в КФУ – 25%, в Российском университете дружбы народов – 20% (категория «оптимальный вариант»), в Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики» (Санкт-Петербургский кампус, направление «Политология и мировая политика») – 18%, в Санкт-Петербургском государственном университете – 14% и в Московском государственном институте международных отношений – 10% (категория «амбициозный выбор»). Отдельный блок Safer Program Alternatives предлагает смежные направления подготовки с более высокой вероятностью зачисления. Например, переход на «Политологию» увеличивает шанс на 5 процентных пунктов до 24%, а на «Регионоведение» – на 7 пунктов до 26%.

Итоговый модуль Full AI Admission Guide задаёт пошаговый маршрут подготовки документов: легализация и перевод аттестата, составление списка из шести университетов по принципу «2 программы с высоким шансом, 2 оптимальных, 2 амбициозных», написание мотивационного письма, доработка портфолио и подача заявки через официальный портал. Дополняющий модуль Career & Salary Forecast связывает выбранное направление подготовки с ожидаемыми карьерными траекториями и диапазонами заработной платы в РФ, мире и стране происхождения абитуриента, что расширяет горизонт принятия решения за пределы момента поступления.

3. Потенциальный эффект внедрения ИИ-инструментов в стратегию экспорта образования РТ

Количественная оценка шансов снимает часть информационной асимметрии между университетом и абитуриентом. Абитуриент получает конкретный процент вероятности зачисления, привязанный к его собственному академическому профилю и к текущему уровню конкуренции по выбранному направлению. Ранжирование альтернативных программ с более высокой вероятностью зачисления удерживает мотивированного кандидата в системе российского образования вместо отказа от подачи документов после первого отклонения или переориентации на конкурирующую страну.

Для университета подобный инструмент решает ряд задач, включая снижение доли случайных заявок от кандидатов с заведомо низкими шансами и концентрацию приёмной комиссии на профилях с высокой вероятностью успешного зачисления и завершения обучения. Присутствие КФУ в перечне рекомендованных программ платформы закрепляет за университетом позицию одного из целевых вузов сервиса ещё на этапе тестовой эксплуатации.

Дорожная карта развития платформы охватывает три этапа. На первом этапе (2025-2026 гг.) запланировано расширение AI-функционала: прогнозирование спроса на образовательные программы на основе больших данных, автоматизированная адаптация контента под профиль пользователя и интеграция с системами онлайн-обучения. Второй этап (2026-2027 гг.) предполагает подключение новых образовательных организаций и масштабирование универсальной архитектуры платформы на другие регионы РФ. Третий этап (2027-2028 гг.) связан с построением цифровой экосистемы, объединяющей университеты, абитуриентов и государственные структуры через партнёрскую сеть и систему интеграций.

Целевые показатели проекта предполагают прирост численности иностранных студентов на 40% и увеличение доходов вузов от их обучения на 60%, а также вхождение РФ в топ-10 стран мирового рейтинга по привлекательности для иностранных студентов. Достижение указанных показателей потребует верификации точности прогнозных моделей платформы на репрезентативной выборке зачислений и подтверждения корреляции между рассчитанной вероятностью и фактическим результатом поступления.

Выводы

Экспорт образовательных услуг РТ опирается на комплекс традиционных инструментов цифрового маркетинга – иноязычные сайты, продвижение в социальных сетях, контекстную

рекламу, дистанционные вступительные испытания и цифровой контроль приёма. Перечисленные инструменты решают задачу привлечения внимания массовой аудитории абитуриентов, однако не устраняют неопределённость на этапе индивидуального выбора программы и оценки шансов на зачисление.

ИИ-платформа ApplyRussia переводит взаимодействие абитуриента с российской системой высшего образования из режима общего информирования в режим персонализированной количественной оценки: расчёт вероятности зачисления, ранжирование конкурентных позиций, подбор альтернативных программ и пошаговый план подготовки документов.

Дорожная карта проекта на 2025-2028 гг. предусматривает переход от точечного применения ИИ-модуля к масштабированию на другие регионы РФ и построению цифровой экосистемы взаимодействия университетов, абитуриентов и государственных структур. Устойчивость заявленного эффекта – рост численности иностранных студентов и доходов вузов от их обучения – зависит от последующей верификации прогнозных моделей платформы на реальных данных о зачислении, что определяет направление дальнейших исследований темы.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [Электронный ресурс] // Гарант. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71837200/ (дата обращения: 01.07.2026).

2. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [Электронный ресурс] // Гарант. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408892634/ (дата обращения: 01.07.2026).

3. Россия укрепляет связи в международном научно-образовательном пространстве [Электронный ресурс] // Минобрнауки России. – URL: https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/98935/ (дата обращения: 01.07.2026).

4. В образовательных организациях Татарстана обучается более 27 тыс. иностранцев [Электронный ресурс] // Татар-Информ. – URL: https://www.tatar-inform.ru/news/v-obrazovatelnyx-organizaciyax-tatarstana-obucaetsya-bolee-27-tys-inostrancev-5999265 (дата обращения: 01.07.2026).

5. Вузы Татарстана обогнали петербургские по доходам от иностранных студентов [Электронный ресурс] // Ведомости. – URL: https://www.vedomosti.ru/society/articles/vuzi-tatarstana-obognali-peterburgskie-po-dohodam-ot-inostrannih-studentov (дата обращения: 01.07.2026).

6. Николаев, В. К. Экспорт образования в вузах России в условиях новой реальности / В. К. Николаев // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31. № 2. – С. 149–166. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-2-149-166.

7. Иностранные студенты в вузах Республики Татарстан: привлечение и адаптация [Электронный ресурс] // Аккредитация в образовании. – URL: https://akvobr.ru/new/publications/598 (дата обращения: 01.07.2026).

8. Отчет о результатах самообследования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» за 2024 год [Электронный ресурс] // КФУ. – URL: https://kpfu.ru/sveden/files/002023.pdf (дата обращения: 01.07.2026).

9. Knight J. Five Truths about Internationalization // International Higher Education. – 2012. – № 69. – P. 4–5. DOI: 10.6017/ihe.2012.69.8644.

УДК 004.94:378.147:629.7

ПЕРЕНОСИМОСТЬ УЧЕБНОГО СОДЕРЖАНИЯ ДЛЯ МОДУЛЬНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Минеев А.Э., аспирант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0007-0600-9769

PORTABILITY OF LEARNING CONTENT FOR MODULAR UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Mineev A.E., Postgraduate Student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0007-0600-9769

Аннотация

Обучающая система для технического изделия несёт описание учебных операций, привязанное к конкретной конструкции. Для изделия модульного устройства, состав которого меняется в ходе эксплуатации, такая привязка означает, что описание приходится составлять заново под каждый вариант состава. Цель работы состоит в том, чтобы выделить переносимость учебного содержания в самостоятельное свойство обучающей системы и определить, обеспечено ли оно существующими решениями. Под переносимостью понимается возможность применить одно описание учебных операций к изделию другого состава, не составляя его заново. Свойство отделено от переноса навыка обучаемого на реальный объект и от средств, которыми задание предъявляется: в известных обзорах эти три характеристики смешиваются, и различие между ними теряется. Предложена схема сопоставления обучающих систем по трём независимым признакам: привязка учебного содержания, наличие проверки его переноса на изделие другой конструкции, объект оценки результата обучения. Схема применена к работам по подготовке пользователей беспилотных авиационных систем и по обучению сборочным операциям. Установлено, что по привязке содержания и по объекту оценки результата решения различаются, а проверка переноса описания на изделие другой конструкции не выполнена ни в одной из рассмотренных работ. Тем самым выявлено сочетание признаков, в них не представленное: одно описание операций, применённое к нескольким составам изделия, с проверкой навыка на физическом объекте. Научная значимость результата состоит в разделении свойств, которые прежде рассматривались совместно, практическая – в требованиях к обучающим системам отрасли и к программам их испытаний. Содержание должно допускать проверяемый перенос на другой состав изделия, а испытания должны раздельно оценивать такой перенос и выполнение операции обучаемым на физическом объекте. Результаты применимы при постановке задач разработки обучающих систем для беспилотных авиационных систем модульной конструкции и при планировании экспериментов по их проверке.

Ключевые слова: беспилотная авиационная система; модульное изделие; обучающая система; переносимость учебного содержания

Abstract

A training system for a technical product carries a description of learning operations tied to one particular design. For a product of modular construction, whose composition changes during operation, this binding means that the description has to be written anew for every variant of the composition. The aim of the paper is to single out the portability of learning content as a property of

a training system in its own right and to determine whether existing solutions provide it. Portability is understood as the ability to apply one description of learning operations to a product of a different composition without writing it again. The property is separated from the transfer of a trainee skill to a real object and from the means by which a task is presented: in known reviews these three characteristics are merged and the distinction between them is lost. A scheme is proposed for comparing training systems against three independent attributes: what the learning content is tied to, whether the transfer of the content to a product of another design has been tested, and the object on which the learning outcome is measured. The scheme is applied to work on training the users of unmanned aircraft systems and on training assembly operations. Solutions are found to differ in the binding of content and in the object of assessment, whereas the transfer of a description to a product of another design has been tested in none of the reviewed works. A combination of attributes not present in them is thereby identified: one description of operations applied to several compositions of a product, with skill verification on a physical object. The scientific value of the result lies in separating properties previously treated together, and the practical value in requirements for training systems and for their test programmes.

Keywords: unmanned aircraft system; modular product; training system; learning content portability

Введение

Мультироторную беспилотную авиационную систему часто строят как модульную платформу: сменные подсистемы, разные типы полезной нагрузки, аккумуляторов и шасси [1]. В эксплуатации замена компонента переводит изделие в другой вариант состава. Значит, учить приходится работе не с одним заранее выбранным объектом.

Пользователь имеет дело с двумя разными классами действий. Первый – управление полётом. Второй – работы с конструкцией: сборка перед вылетом, замена отказавшего модуля, регламентные работы. Ошибку управления видно сразу, в полёте. Ошибка при сборке может не проявиться до следующего вылета.

Обучение полёту опирается на решения, проверенные на реальном аппарате. В [2] 42 обучаемых после подготовки на тренажёре и 39 человек контрольной группы выполняли одинаковые манёвры на реальном аппарате. Среднее конечное отклонение от заданного положения составило 0,998 м против 1,475 м, то есть примерно на 32% меньше. Готовили на модели, близкой к испытываемой по массе, схеме и режиму управления, и авторы оговаривают, что переносить вывод на аппараты иных типов нельзя.

Работам с конструкцией учат средствами промышленного обучения сборке [3–6]. Результат в них проверяют вне среды: обучаемый выполняет операцию на физическом стенде. Другой вопрос остаётся открытым, и для модульного изделия он важнее: применяли ли в этих работах одно описание учебных операций к изделию другого состава.

Цель работы – выяснить, насколько существующие решения применимы при штатной смене состава изделия. Работы охарактеризованы по трём независимым признакам: к чему привязано учебное содержание; проверяли ли перенос описания на другую конструкцию; на каком объекте оценивали результат обучения. Способ формального представления изделия, правила получения исполняемой процедуры для выбранной конфигурации и методы проверки её выполнимости здесь не рассматриваются.

1. Методика сопоставления

К рассмотрению принимались работы, где описано обучающее средство или метод, применимый к подготовке пользователей технических изделий, и приведено достаточно сведений, чтобы понять две вещи: как задано учебное содержание и на чём проверяли результат. Наличие измеренного учебного результата отмечалось отдельно. Работы о беспилотных системах вне обучающего контура привлекались только как источник требований к содержанию.

Признаков три, и они независимы. Первый – привязка учебного содержания: к экземпляру изделия, к параметрам функционального блока или к описанию, пригодному для повторного применения. Второй – проверяли ли применимость одного описания к изделию другой конструкции. Третий – объект оценки результата: виртуальная среда, физический стенд или эксплуатационное изделие.

Связь между признаками заранее не предполагается: каждый определяется отдельно, а сочетания складываются из рассмотренных работ. Выводы относятся к этим работам.

2. Обучение управлению полётом

Задание здесь описывают через управляющие воздействия и полётные упражнения. Конструкция аппарата в описание прямо не входит. Результат в [2] оценивали на реальном аппарате, то есть проверяли перенос навыка в эксплуатационный контекст.

Полной независимости от конструкции здесь нет. Готовили на одной модели, проверяли на другой, близкой по массе и схеме; авторы прямо пишут, что перенос на аппараты иных типов требует отдельной проверки. Подтверждён перенос между двумя близкими изделиями, а не независимость содержания от конструкции. Применимость одного описания к конструктивно разным аппаратам в работе не проверяли.

3. Обучение работам с конструкцией

В [3] подготовку в виртуальной среде сравнили с традиционным инструктажом на задаче разводки проводов клеммной коробки электродвигателя. Участвовали 22 человека, проверка шла на физическом стенде, воспроизводящем производственную задачу предприятия. Группа, прошедшая подготовку в среде, справилась примерно на 10 % быстрее. Содержание описано под одно изделие: клеммная коробка, состав соединений и порядок операций заданы заранее.

В [4] подсказки сопровождают физическую сборку, а не предшествуют ей. Выигрыш оказался выше у тех, кто раньше с задачей не сталкивался; кроме времени и ошибок измеряли когнитивную нагрузку. По назначению это поддержка работы, и её содержание привязано к конкретному изделию.

В [5] проверяли, что остаётся от навыка после подготовки в двух формах, настольной и иммерсивной. Оценивали физическую сборку. Значимого преимущества одной формы не нашли, но итоговая выборка составила 44 человека, и такой результат не доказывает, что формы равноценны. Для сопоставления важнее другое: обе формы работали с описанием одного и того же изделия.

В [6] описана платформа обучения разборке в паре с роботом, она же порождает синтетические данные. Оценку учебного результата с участниками авторы отнесли к дальнейшей работе, поэтому здесь эта работа учтена как технический прототип.

Общее для [3–6] в том, что содержание расписано по шагам операции над заранее заданным объектом, а пригодность его для другого состава изделия не проверяли. Обзор [7] сравнивает решения этого класса по способам представления, взаимодействия и по эргономике; вопрос о повторном применении описания там не ставится.

Трудоёмкость подготовки заданий снижают двумя способами. Первый меняет привязку содержания: в [8] правка задания сведена к изменению конечного числа параметров тренировочного блока, и программировать каждое упражнение уже не нужно. Применимость одного такого описания к нескольким конструкциям изделия там не исследована. Второй способ автоматизирует само составление: в [9] автор наговаривает содержание, генеративная модель разворачивает его в пошаговую инструкцию, а привязку к обстановке автор задаёт, обходя помещение и снимая его. Инструкция получается быстрее, но она порождается под ту обстановку и тот объект, которые сняты; для другого состава изделия работу выполняют заново.

4. Следствия для модульного изделия

Значения признаков для двух классов обучения сведены на рис. 1.

По двум признакам работы различаются. Объект проверки результата разный: реальный аппарат [2], физический стенд [3], физическая сборка с подсказками [4] и без них [5]; в [6] учебный результат не оценивали, в [8] он не приводится. Привязка содержания тоже разная: управляющее воздействие [2], шаг операции над экземпляром [3–6], параметры тренировочного блока [8], порождаемая по обстановке инструкция [9].

	Обучение управлению полётом	**Обучение работам с конструкцией**
Привязка содержания	управляющее воздействие	шаг операции над экземпляром
Объект проверки результата	реальный аппарат	физический стенд
Перенос описания на другую конструкцию	не проверялся	не проверялся

Незанятый случай: одно описание операций для нескольких составов изделия с проверкой навыка на физическом объекте

Рис. 1. Различие двух классов обучения по привязке учебного содержания и объекту проверки результата

Третий признак во всех работах принимает одно значение. Применимость одного описания к изделию другой конструкции не проверял никто. Отсюда следует, что внешняя проверка результата и переносимость содержания – разные свойства: первое встречается при любой привязке содержания, второе не встречается вовсе.

Для изделия единственной конструкции второе свойство и не требуется. Для беспилотной системы требуется: библиотека совместимых модулей задаёт не одну конструкцию, а набор допустимых составов [1], и набор растёт вместе с числом модулей. Если содержание привязано к экземпляру, при каждой смене состава его готовят заново. Насколько велика эта дополнительная работа, по рассмотренным источникам судить нельзя: таких измерений в них нет.

Сведения о техническом состоянии изделия в обучение не попадают. В [10] прогнозируют остаточный ресурс и перестраивают управление при деградации приводов, но учебные сценарии на этих данных не строят, хотя именно они показывают, какие операции обслуживания встречаются чаще.

Выводы

Объект проверки результата обучения не определяется тем, к чему привязано учебное содержание: проверка на физическом объекте встречается и при обучении полёту, и при обучении сборочным операциям. Замкнутость подготовки к работам с конструкцией внутри виртуальной среды не подтвердилась.

Научной новизной работы является схема сопоставления обучающих систем по трём независимым признакам: привязка учебного содержания, наличие проверки его переноса на изделие другой конструкции и объект оценки результата обучения. Применение схемы выя-

вило сочетание, не представленное в рассмотренных работах: одно описание операций, применённое к нескольким конфигурациям модульного изделия, с последующей проверкой навыка на физическом объекте. В отличие от известных обзоров, сравнивающих такие системы по средствам представления и взаимодействия, схема разделяет привязку содержания и масштаб его применения.

Ни в одной рассмотренной работе перенос учебного содержания на изделие другой конструкции не показан. Способ, сокращающий трудоёмкость за счёт параметризации тренировочного блока, к нескольким конструкциям не применялся.

Практическое значение результатов состоит в рекомендациях для требований к обучающим системам отрасли: содержание должно допускать проверяемый перенос на другой состав модульного изделия, а программа испытаний должна включать раздельно проверку такого переноса и проверку навыка на физическом объекте. Форма описания, для которой это выполнимо, остаётся предметом дальнейшей работы авторов.

Список литературы

1. Kotarski D., Piljek P., Pranjić M., Grlj C.G., Kasać J. A Modular Multirotor Unmanned Aerial Vehicle Design Approach for Development of an Engineering Education Platform // Sensors. – 2021. – Vol. 21, № 8. – Art. 2737. – DOI 10.3390/s21082737.

2. Somerville A., Lynar T., Joiner K., Wild G. Use of Simulation for Pre-Training of Drone Pilots // Drones. – 2024. – Vol. 8, № 11. – Art. 640. – DOI 10.3390/drones8110640.

3. Obermair F., Althaler J., Wolfartsberger J., Niedermayr D., Feichtenschlager H.-P. Assembly Training for Electric Motor Wiring with Virtual Reality Compared to Paper Instructions: Experiment and Analysis // Procedia CIRP. – 2024. – Vol. 130. – P. 398–406. – DOI 10.1016/j.procir.2024.10.106.

4. Marino E., Barbieri L., Bruno F., Muzzupappa M. Assessing user performance in augmented reality assembly guidance for industry 4.0 operators // Computers in Industry. – 2024. – Vol. 157–158. – Art. 104085. – DOI 10.1016/j.compind.2024.104085.

5. Farr A., Pietschmann L., Zürcher P., Bohné T. Skill retention after desktop and head-mounted-display virtual reality training // Experimental Results. – 2023. – Vol. 4. – Art. e2. – DOI 10.1017/exp.2022.28.

6. Maddipatla Y., Tian S., Liang X., Zheng M., Li B. VR Co-Lab: A Virtual Reality Platform for Human–Robot Disassembly Training and Synthetic Data Generation // Machines. – 2025. – Vol. 13, № 3. – Art. 239. – DOI 10.3390/machines13030239.

7. Wang Z., Bai X., Zhang S., Billinghurst M., He W., Wang P., Lan W., Min H., Chen Y. A comprehensive review of augmented reality-based instruction in manual assembly, training and repair // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2022. – Vol. 78. – Art. 102407. – DOI 10.1016/j.rcim.2022.102407.

8. Сальников В.В., Кравцов М.Н. Один из аспектов разработки универсального конструктора задач для тренажерных систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 1–9. – DOI 10.26102/2310-6018/2020.30.3.033.

9. Shi J., Jain R., Chi S., Doh H., Chi H.-g., Quinn A.J., Ramani K. CARING-AI: Towards Authoring Context-aware Augmented Reality INstruction through Generative Artificial Intelligence // Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – New York: ACM, 2025. – P. 1–23. – DOI 10.1145/3706598.3713348.

10. Shen F.-y., Li W., Jiang D.-n., Mao H.-j. Autonomous predictive maintenance of quadrotor UAV with multi-actuator degradation // The Aeronautical Journal. – 2024. – Vol. 128, № 1326. – P. 1789–1813. – DOI 10.1017/aer.2024.8.

УДК 37.01

ВЫЗОВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ

Михайлова О.В., студент;
Ибрагимов И.Ф., к.б.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный университет юстиции» РПА Минюста России», г. Казань, Россия

DIGITAL TRANSFORMATION CHALLENGES AND IMPLEMENTATION PROSPECTS

Mikhailova O.V., student;
Ibragimov I.F., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Justice, Kazan, Russia

Аннотация

В условиях стремительной цифровизации всех сфер общественной жизни система образования сталкивается с необходимостью трансформации как организационных, так и педагогических подходов. В статье рассматриваются ключевые направления внедрения цифровых технологий в образовательный процесс, включая использование систем управления обучением (далее – LMS), технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ) и инструментов адаптивного обучения. На основе анализа научных источников и практических исследований, проведённых в период с 2020 по 2026 гг., выделены основные проблемы, связанные с цифровой трансформацией образования. К числу таких проблем относятся: недостаточный уровень цифровой компетентности педагогических кадров, технические и инфраструктурные ограничения образовательных организаций, психофизиологические риски для здоровья обучающихся, возникающие при длительном взаимодействии с цифровыми устройствами, а также необходимость сохранения воспитательной и коммуникативной функций образования в условиях цифровой среды.

Особое внимание в работе уделено анализу подходов к интеграции искусственного интеллекта в педагогическую практику. Показано, что использование ИИ-инструментов, включая интеллектуальные системы проверки знаний и адаптивные образовательные платформы, открывает новые возможности для персонализации обучения и повышения эффективности образовательного процесса, однако требует тщательной методической проработки и учёта этических аспектов. В работе предложена модель поэтапной интеграции цифровых решений, в которой технологические инновации подчинены педагогическим целям, а не определяют их. Модель включает четыре этапа: аудит текущего состояния образовательной среды, выработка стратегии цифровизации, поэтапное внедрение технологий с апробацией на пилотных дисциплинах и последующий мониторинг эффективности с коррекцией подходов.

Результаты исследования могут быть использованы руководителями образовательных организаций, преподавателями высшей и средней школы, а также разработчиками образовательных платформ и цифровых продуктов для выработки сбалансированной и научно обоснованной стратегии цифровой трансформации образования, учитывающей как потенциал инноваций, так и риски, связанные с их внедрением.

Ключевые слова: цифровые технологии, цифровая трансформация образования, искусственный интеллект, системы управления обучением, цифровая компетентность педагогов, адаптивное обучение, здоровье обучающихся

Abstract

In the context of rapid digitalization across all spheres of public life, the education system faces the need to transform both organizational and pedagogical approaches. The article examines key areas of digital technology integration into the educational process, including the use of Learning Management Systems (hereinafter – LMS), artificial intelligence (hereinafter –AI) technologies, and adaptive learning tools. Based on the analysis of scientific sources and empirical research conducted between 2020 and 2026, the main problems associated with the digital transformation of education are identified. These include: insufficient level of digital competence among teaching staff, technical and infrastructural limitations of educational organizations, psychophysiological risks to the health of students arising from prolonged interaction with digital devices, as well as the need to preserve the educational and communicative functions of education in a digital environment.

Special attention is paid to the analysis of approaches to integrating artificial intelligence into pedagogical practice. It is shown that the use of AI tools, including intelligent knowledge assessment systems and adaptive educational platforms, opens up new opportunities for personalizing learning and improving the efficiency of the educational process, but requires careful methodological elaboration and consideration of ethical aspects. The paper proposes a model for the phased integration of digital solutions, in which technological innovations are subordinated to pedagogical goals, rather than determining them. The model includes four stages: audit of the current state of the educational environment, development of a digitalization strategy, phased implementation of technologies with testing on pilot disciplines, and subsequent monitoring of effectiveness with adjustment of approaches.

The results of the study can be used by heads of educational organizations, higher and secondary school teachers, as well as developers of educational platforms and digital products to develop a balanced and scientifically based strategy for the digital transformation of education, taking into account both the potential of innovations and the risks associated with their implementation.

Keywords: digital technologies, digital transformation of education, artificial intelligence, learning management systems, digital competence of teachers, adaptive learning, student health

Цифровые технологии стали неотъемлемой частью современного образовательного пространства. Активное внедрение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий и систем управления обучением (LMS) трансформирует традиционные представления о формах и методах педагогической деятельности. Как отмечают исследователи, пандемия COVID-19 стала мощным катализатором цифровой трансформации, выявив как потенциал, так и ограничения цифровых решений в образовании [1, 2].

Вместе с тем процесс цифровизации сталкивается с рядом системных проблем. Исследования показывают, что успешность интеграции цифровых технологий определяется не столько техническими характеристиками инструментов, сколько готовностью педагогических кадров к их использованию, наличием методической поддержки и учётом психофизиологических особенностей обучающихся [3; 4]. Теория и методология информатизации образования требуют системного переосмысления целей и содержания образовательного процесса в условиях цифровой среды [5].

Цель настоящего исследования – проанализировать современные подходы к цифровой трансформации образования, выявить ключевые вызовы и барьеры, а также предложить модель эффективной интеграции цифровых технологий, обеспечивающую баланс между инновациями и сохранением фундаментальных образовательных ценностей.

1. Методика исследования

Теоретико-методологическую основу работы составляют системный анализ научной литературы по проблемам цифровизации образования, а также обобщение результатов эмпирических исследований, проведённых в период с 2020 по 2026 год. В работе использованы методы сравнительного анализа, контент-анализа публикаций и синтеза данных из российских и зарубежных источников.

Особое внимание уделено работам, рассматривающим психолого-педагогические аспекты цифровизации, а также исследованиям, посвящённым оценке влияния цифровой образовательной среды на здоровье обучающихся и профессиональную деятельность преподавателей. Источниковая база включает публикации в рецензируемых журналах, индексируемых в РИНЦ и ВАК, а также материалы международных конференций по проблемам цифрового образования.

2. Основные направления цифровизации образования

Современная цифровая трансформация образования охватывает несколько ключевых направлений. Прежде всего, это внедрение систем управления обучением (LMS), которые обеспечивают организацию образовательного процесса в электронной среде. Использование LMS позволяет не только размещать учебные материалы и проводить тестирование, но и отслеживать траекторию обучения каждого студента, что создаёт основу для персонализации образования [6].

Второе важное направление связано с применением технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ). Исследования в этой области подчёркивают, что использование ИИ в образовании открывает возможности для адаптивного обучения, автоматизации проверки знаний и создания интеллектуальных помощников преподавателя [7]. Вместе с тем авторы обращают внимание на риски, связанные с недостаточной проработанностью методологических подходов к применению ИИ в педагогическом процессе.

Третье направление – развитие цифровых образовательных платформ и инструментов для совместной работы. Актуальность этой проблемы подчёркивается в современных исследованиях, где предлагается использовать технологию цифровых двойников преподавателя для автоматизации создания образовательных видеоматериалов. Модульный подход позволяет существенно снизить трудозатраты преподавателей на подготовку и обновление учебного контента [8].

3. Проблемы и вызовы цифровой трансформации

Анализ научной литературы и практики внедрения цифровых технологий позволяет выделить несколько основных проблем.

Недостаточный уровень цифровой компетентности педагогических кадров. Исследования показывают, что значительная часть преподавателей испытывает трудности при работе с новыми цифровыми инструментами, что связано как с возрастными особенностями, так и с отсутствием системной поддержки и повышения квалификации [9]. Формирование цифровых навыков должно стать неотъемлемой частью профессионального развития педагога [3].

Психолого-педагогические риски. В научных работах обоснованы риски тотальной цифровизации для здоровья обучающихся. Длительное взаимодействие с цифровыми устройствами, снижение объёма живого общения и увеличение статической нагрузки могут негативно сказываться на физическом и психическом здоровье учащихся, особенно в младшем и подростковом возрасте [1]. Эти выводы согласуются с результатами исследований, где также рассматриваются психологические эффекты и риски использования ИИ и цифровых технологий в образовании [4].

Методические и организационные барьеры. Отсутствие единой стратегии цифровой трансформации внутри образовательных организаций, дублирование информационных систем и недостаточная методическая поддержка преподавателей создают дополнительные сложности. Необходима поэтапная системная стратегия, в которой технологические инновации подчинены педагогическим целям, а не наоборот [10].

4. Перспективные модели и направления развития

Эффективная цифровая трансформация требует комплексного подхода. На основе анализа источников можно предложить модель, включающую следующие этапы:

1. Аудит текущего состояния – оценка технической оснащённости, уровня цифровых компетенций преподавателей и образовательных потребностей студентов.

2. Выработка стратегии – определение целей и задач цифровизации, выбор приоритетных технологий с учётом специфики образовательной организации.

3. Поэтапное внедрение – пилотные проекты, апробация технологий на отдельных дисциплинах, обучение преподавателей.

4. Мониторинг и коррекция – регулярная оценка эффективности, анализ рисков и своевременная корректировка подходов.

При этом особое внимание должно уделяться сохранению воспитательной и коммуникативной функций образования, а также обеспечению здоровьесберегающих условий для обучающихся.

5. Выводы

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Цифровая трансформация образования является объективной реальностью, требующей системного и взвешенного подхода. Технологические инновации должны быть подчинены педагогическим целям, а не определять их.

2. Основными барьерами эффективного внедрения цифровых технологий остаются недостаточный уровень цифровой компетентности преподавателей, технические ограничения, а также психолого-педагогические риски, связанные с воздействием цифровой среды на здоровье обучающихся.

3. Наиболее перспективной представляется модель смешанного обучения, в которой цифровые инструменты дополняют традиционные формы занятий, обеспечивая гибкость и доступность образования без ущерба для его качества и воспитательного потенциала.

4. Для успешной интеграции цифровых технологий необходима разработка единых стандартов, создание центров поддержки преподавателей и студентов, а также регулярный мониторинг эффективности применяемых решений.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку универсальных диагностических инструментов оценки цифровой зрелости образовательной среды и создание методик обучения преподавателей работе в условиях цифровой трансформации.

Список литературы

1. Мухаметзянов, И. Ш. Цифровая образовательная среда и здоровье обучающихся / Мухаметзянов И. Ш. // Воспитание школьников. – 2025. – № 5. – С. 35–41.

2. Selwyn N. Education and technology: key issues and debates. – London: Bloomsbury Academic, 2022. – 232 p.

3. Носкова, А. В. Цифровые компетенции преподавателей в системе академического развития высшей школы: опыт эмпирического исследования / А. В. Носкова, Д. В. Голоухова, Е. И. Кузьмина, Д. В. Галицкая // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31. – № 5. – С. 159–168.

4. Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial intelligence in education: promises and implications for teaching and learning. – Boston: Center for Curriculum Redesign, 2023. – 236 p.

5. Роберт, И. В. Теория и методика информатизации образования / И. В. Роберт. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 398 с.

6. Wang S., Zhang H. Pedagogical partnerships with generative AI in higher education: how dual cognitive pathways paradoxically enable transformative learning // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2026. (Scopus Q1)

7. Luckin R., Cukurova M., Kent C., du Boulay B. Empowering educators to be AI-ready // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2022. – Vol. 3. – Art. 100076.

8. Deogaonkar A. Digital leadership, AI readiness and strategic resource allocation in education: a configurational approach to post-pandemic transformation // International Journal of Educational Management. – 2025. (Scopus Q1)

9. Гриневич, Л. А. Цифровизация высшего образования в современной России: теория и практика / Л. А. Гриневич // Вестник Кемеровского государственного университета культуры и искусств. – 2021. – № 57. – С. 242–248.

10. Бекарев, А. М. Цифровая компетентность и возраст преподавателя в условиях префигуративной культуры / А. М. Бекарев, Г. С. Пак // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. – 2022. – № 1 (65). – С. 74–81.

УДК 378.147

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Морева А.А., заместитель директора по УР, преподаватель МБОУ «Лицей №9 имени А.С. Пушкина ЗМР РТ», г. Зеленодольск, Россия;
ORCID: 0009-0007-8263-0303

APPLICATION OF ADAPTIVE SYSTEMS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN EDUCATION

Moreva A.A., Deputy Director for Educational Resources, Teacher Municipal Educational Institution «Lyceum № 9 named after A.S. Pushkin of the ZMR of the Republic of Tatarstan», Zelenodolsk, Russia;
ORCID: 0009-0007-8263-0303

Аннотация

В данной статье подробно рассматриваются актуальные теоретические и практические вопросы интеграции современных адаптивных образовательных систем, функционирующих на основе алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения, в традиционный образовательный процесс высших учебных заведений. Широкое внедрение инновационных цифровых технологий в сферу современного высшего образования обусловлено объективной необходимостью комплексной модернизации классических дидактических подходов и обеспечения глубокой персонализации обучения в условиях стремительного глобального роста объемов научно-технической информации. В рамках исследования автор проводит детальный многоаспектный анализ существующих зарубежных и отечественных адаптивных платформ, всесторонне оценивает их реальный дидактический потенциал и выявляет ключевые стратегические преимущества, напрямую связанные с автоматическим формированием гибких индивидуальных образовательных траекторий для каждого конкретного студента. В качестве методологической основы проведенного исследования авторами активно применялись методы комплексного системного анализа, детального педагогического моделирования, а также длительного эмпирического наблюдения за выделенными экспериментальными группами обучающихся, проходящих профессиональную подготовку с использованием интеллектуальных программных систем. В работе наглядно представлены практические результаты успешного внедрения продвинутых алгоритмов машинного обучения для точной оценки текущего уровня базовых знаний студентов, качественного прогнозирования их итоговой академической успеваемости и своевременной динамической корректировки предлагаемого учебного контента в режиме реального времени. Полученные в ходе эксперимента эмпирические данные убедительно свидетельствуют о существенном повышении внутренней мотивации обучающихся, стабильном росте качества усвоения сложных междисциплинарных курсов и заметном снижении общей рутинной нагрузки на профессорско-преподавательский состав акаде-

мических кафедр за счет эффективной автоматизации большинства текущих проверочных и контролирующих процедур. На основе результатов проведенного исследования были детально сформулированы конкретные научно обоснованные рекомендации по дальнейшему долгосрочному совершенствованию технологической и информационной инфраструктуры современных университетов, оптимизации математических моделей адаптивного тестирования и минимизации потенциальных гуманитарных рисков цифровизации. Практическая значимость выполненной работы заключается в реальной возможности применения предложенных моделей для проектирования высокоэффективных электронных обучающих комплексов и интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сфере управления образовательным процессом.

Ключевые слова: высшее образование, цифровые технологии, искусственный интеллект, адаптивное обучение, индивидуальная образовательная траектория, машинное обучение, электронные курсы, персонализация знаний

Abstract

This article examines in detail current theoretical and practical issues of integrating modern adaptive educational systems, operating on the basis of artificial intelligence and machine learning algorithms into the traditional educational process of higher education institutions. The widespread introduction of innovative digital technologies into modern higher education is conditioned by the objective necessity of comprehensive modernization of classical didactic approaches and ensuring deep personalization of learning in conditions of rapid global growth of volumes of scientific and technical information. Within the framework of the study, the author conducts a detailed multidimensional analysis of existing foreign and domestic adaptive platforms, evaluates their educational potential and identifies key strategic advantages directly related to the automatic formation of flexible individual educational trajectories for each specific student. As the methodological basis of the conducted research, the authors actively applied methods of comprehensive system analysis, detailed pedagogical modeling, as well as long-term empirical observation of selected experimental groups of students undergoing training using intelligent software systems. The paper clearly presents the practical results of the successful introduction of advanced machine learning algorithms for accurate assessment of the current level of students' basic knowledge, qualitative forecasting of their final academic performance, and timely dynamic adjustment of the offered educational content in real time. The empirical data obtained during the experiment convincingly testify to a significant increase in the internal motivation of students, a stable growth in the quality of assimilation of complex interdisciplinary courses, and a noticeable reduction in the overall routine workload on the faculty of academic departments due to the effective automation of most current testing and monitoring procedures. Based on the results of the conducted research, specific scientifically substantiated recommendations were formulated in detail for the further long-term improvement of the the technological and information infrastructure of modern universities, optimization of mathematical models of adaptive testing, and minimization of potential humanitarian risks of digitalization. The practical significance of the completed work lies in the real possibility of applying the proposed conceptual models for designing highle effective electronic learning complexes and intelligent decision support systems in educational process management.

Keywords: higher education, digital technologies, artificial intelligence, adaptive learning, individual learning trajectory, machine learning, e-learning courses, personalization of knowledge

Введение

Современный этап развития глобального академического пространства характеризуется стремительным проникновением сквозных цифровых технологий во все структурные компоненты образовательного процесса. Традиционная классно-урочная и классическая лекционно-семинарская системы организации учебной деятельности в высшей школе посте-

пенно демонстрируют концептуальные ограничения, связанные с невозможностью оперативного учета индивидуально-психологических особенностей, базового уровня подготовки и гетерогенного темпа усвоения сложной информации современными студентами. В эпоху экспоненциального роста объемов научной и профессиональной информации ключевой задачей высших учебных заведений становится не просто трансляция фиксированного набора фундаментальных знаний, а формирование гибких навыков самостоятельного освоения и практического применения новых компетенций. Одним из наиболее перспективных и научно обоснованных направлений решения данной проблемы выступает создание и внедрение в образовательную среду университетов адаптивных интеллектуальных систем обучения.

Теоретико-методологическую основу исследования составляют фундаментальные труды отечественных и зарубежных ученых в области информатизации высшего профессионального образования, теории интеллектуальных обучающих систем и методологии персонализированного обучения. Развитие концепции цифрового университета предполагает радикальный перенос центра тяжести с пассивного восприятия учебных материалов на активное конструирование знаний в рамках цифровой образовательной среды. Актуальность темы статьи обусловлена необходимостью преодоления объективного противоречия между массовым характером подготовки специалистов в современных вузах и объективной потребностью рынка труда в формировании уникальных профессиональных профилей выпускников.

Методика

Для достижения поставленных в исследовании целей была разработана и реализована комплексная научно-исследовательская методика, сочетающая теоретические методы анализа и экспериментальную апробацию программных решений. На первом этапе был проведен систематический анализ научно-педагогической литературы и существующих ИТ-платформ, использующих элементы искусственного интеллекта для адаптации контента (включая зарубежные платформы Knewton, RealizeIT и отечественные аналоги). Это позволило выделить базовые дидактические паттерны, подлежащие алгоритмизации.

На втором этапе было организовано эмпирическое исследование на базе МЮОУ «Лицей №9 имени А.С. Пушкина ЗМР РТ». Эксперимент проводился в течение трех триместров. В нем приняли участие ученики общей численностью 120 человек, изучающих базовый предмет «Информатика». Контрольная группа (60 человек) обучалась по традиционной методике с использованием стандартного электронного курса в среде дистанционного обучения Moodle. Экспериментальная группа (60 человек) проходила обучение с применением специализированного адаптивного модуля, интегрированного в цифровую экосистему университета. Данный модуль функционировал на базе динамических алгоритмов классификации знаний и деревьев решений.

Основным математическим инструментом оценки параметров усвоения знаний в экспериментальной группе являлась байесовская сеть знаний (Bayesian Knowledge Tracing), которая позволяла в режиме реального времени рассчитывать вероятность освоения каждого отдельного дидактического элемента (компетенции) на основе предыстории ответов студента.

В данной модели учитывались параметры скорректированной вероятности угадывания правильного ответа и вероятности совершения случайной ошибки при наличии фактического знания темы. На основе рассчитываемых коэффициентов система автоматически принимала решение о генерации следующего шага: предоставление теоретического материала повышенной сложности, выдача дополнительных практических примеров или возврат к предыдущему базовому разделу курса. Статистическая обработка полученных результатов академической успеваемости проводилась с использованием критерия Стьюдента для независимых выборок.

Основная часть

Внедрение адаптивной системы на базе алгоритмов искусственного интеллекта позволило радикально изменить структуру взаимодействия субъектов образовательного процес-

са в рамках цифровой среды. Проектирование индивидуальной образовательной траектории осуществлялось непрерывно. Перед началом изучения дисциплины все студенты экспериментальной группы проходили обязательное входное диагностическое тестирование, направленное на выявление начального уровня цифровой грамотности и остаточных знаний математической логики. На основе полученных первичных метрик интеллектуальная система формировала первоначальный профиль обучающегося и соотносила его с одной из трех базовых траекторий: стартовой, базовой или продвинутой.

В процессе изучения тематических модулей система фиксировала не только правильность выполнения контрольных тестовых заданий, но и латентные поведенческие параметры работы на платформе: общее время изучения теоретического текстового блока, скорость пролистывания электронных страниц, количество обращений к справочным материалам и гиперссылкам, а также время суток, в которое студент проявлял наибольшую академическую активность. Собранный массив больших данных (Educational Data Mining) обрабатывался специализированными нейросетевыми алгоритмами классификации. Это позволило оперативно сегментировать студентов по уровню вовлеченности и риска снижения успеваемости.

Динамика изменения среднего балла успеваемости студентов в ходе проведения эксперимента детально отражена в табл. 1. Ссылка на данные показатели позволяет наглядно оценить эффективность предлагаемой методики организации учебного процесса.

Таблица 1

Динамика академической успеваемости студентов в контрольной и экспериментальной группах

Этапы проведения эксперимента	Контрольная группа (средний балл)	Экспериментальная группа (средний балл)	Уровень статистической значимости (p)
Входное диагностическое тестирование	3,42	3,45	$p > 0,05$
Промежуточный срез по модулю №1	3,65	3,82	$p > 0,05$
Промежуточный срез по модулю №2	3,72	4,15	$p < 0,05$
Итоговое экзаменационное тестирование	3,81	4,46	$p < 0,01$

Анализ данных, приведенных в табл. 1, наглядно демонстрирует, что на начальном этапе эксперимента статистически значимых различий между контрольной и экспериментальной группами обнаружено не было, что подтверждает корректность формирования выборок. Однако по мере усложнения учебного материала и накопления адаптивного эффекта в экспериментальной группе наметился выраженный рост качественных показателей. К моменту проведения итогового экзаменационного тестирования средний балл учащихся, обучавшихся по адаптивным индивидуальным траекториям под управлением искусственного интеллекта, оказался существенно выше показателей контрольной группы.

Важным дидактическим результатом стало сокращение общего времени, затрачиваемого студентами продвинутого уровня на освоение очевидного для них материала. Они получили возможность досрочно перейти к изучению прикладных библиотек программирования и выполнению творческих проектных заданий. В свою очередь, учащиеся со слабым уровнем под-

готовки не испытывали деструктивного психологического давления «отстающих», поскольку система мягко адаптировала сложность задач под их текущие возможности, обеспечивая устойчивую ситуацию академического успеха и поддерживая высокий уровень внутренней учебной мотивации. Преподаватель в данной схеме освобождался от необходимости проведения рутинного фронтального контроля и получал консолидированную аналитическую отчетность, позволяющую точечно консультировать конкретных учащихся по наиболее сложным и западающим темам.

Выводы

Проведенное исследование теоретических основ и практических результатов внедрения цифровых адаптивных технологий в образовательный процесс современного учебного заведения позволяет сформулировать несколько обобщающих выводов. Использование систем на базе искусственного интеллекта обеспечивает реальный переход от декларативной к фактической персонализации высшего образования, позволяя гибко учитывать индивидуальный темп и образовательные потребности каждого конкретного учащегося.

Экспериментально доказано, что применение адаптивных алгоритмов привело к статистически значимому повышению итоговой академической успеваемости студентов экспериментальной группы (средний балл вырос до 4,46 по сравнению с 3,81 в контрольной группе), а также способствовало росту их познавательной активности. Перспективы дальнейших исследований в данном направлении связаны с решением проблемы интеграции адаптивных систем с государственными цифровыми платформами и разработкой универсальных этических стандартов использования технологий искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Роберт, И. В. Развитие информатизации образования в условиях цифровой трансформации / И. В. Роберт // Педагогика. – 2021. – № 8. – С. 5–14.

2. Каракозов, С. Д. Цифровая трансформация образования: вызовы и перспективы / С. Д. Каракозов, Н. И. Рыжова // Информатика и образование. – 2019. – № 2. – С. 16–22.

3. Морева, А. А. Чемпионатное движение «Профессионалы» как вектор развития личностных и профессиональных навыков обучающихся среднего профессионального образования / А. А. Морева // Право, экономика и управление: теория и практика: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Чебоксары, 20 августа 2025 года. – Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда», 2025. – С. 192-194.

4. Носкова, Т. Н. Педагогическая сущность цифровой образовательной среды / Т. Н. Носкова // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2020. – № 195. – С. 66–73.

5. Williamson B. Making markets for digital education: Trust, Tech, and venture capitalism // Critical Studies in Education. – 2021. – Vol. 62, № 2. – P. 226–241.

6. Siemens G. Learning Analytics: Envisioning a Data-Driven Future in Education // American Behavioral Scientist. – 2020. – Vol. 64, № 7. – P. 871–884.

7. Baker R. S., Inventado P. S. Educational Data Mining and Learning Analytics // Learning Analytics. Springer, Cham, 2018. – P. 61–75.

8. Zawacki-Richter O., Marín V. I., Bond M., Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2019. – Vol. 16, № 39. – P. 1–27.

9. Luckin R., Holmes W. Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education // Pearson Education. – 2016. – Vol. 5, № 1. – P. 12–25.

УДК 37.012.7

ИСТОРИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ КАК МЕДИЙНЫЙ РЕСУРС ФОРМИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО САМОСОЗНАНИЯ: ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ

Мухутдинов Р.Ф., к.пед.н., архитектор, доцент кафедры дизайна Казанского инновационного университета им. В.Г. Тимирясова, Россия, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0001-5938-3996

HISTORICAL MEMORY AS A MEDIA RESOURCE FOR SHAPING PUBLIC SELF-CONSCIOUSNESS: THE EDUCATIONAL ASPECT

Mukhutdinov R.F., architect, candidate of pedagogical sciences, associate professor, department of design, Kazan innovative university named after V.G. Timiryasov, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-5938-3996

Аннотация

В статье рассматривается историческая память как мощный медийный инструмент, способный активно влиять на общественное сознание в условиях цифровой трансформации и гибридизации современного общества. Анализируются труды отечественных классиков психологии личности в условиях специально организованной деятельности. Подчеркивается необходимость развития у студентов умений анализировать и давать критическую оценку информации из открытых источников, часто недружественного характера, имеющих вполне конкретные цели влияния на общественное мнение. Отмечается, что медийные технологии могут изменять представление об истории и рассматривается возможность перехода от осмысления исторического материала к его анализу, и использованию в рамках образовательного процесса. Обозначается, что именно проектная деятельность с ее стадиями разработки, является эффективным методом формирования критического мышления, общественного самосознания студенческой молодежи. На реальных примерах показано, каким образом происходит углубленное освоение студентами исторического материала локального события, объекта или территории и дальнейшая разработка, на этой основе, проектного предложения. Цель данного подхода – привить студентам навыки работы с историческими данными в цифровой среде, критическому оцениванию неподтвержденной фактами информации. Автор приходит к выводу, что образовательный процесс сегодня становится полем для практической апробации работы исторической памяти как медийной составляющей, которая становится главным компонентом, не только в вопросах освоения студентами дизайнерами отечественной истории, но и передающим эти знания широкой аудитории, а также формирующими у дизайнеров профессиональные компетенции, жизненно важные для понимания процессов, происходящих в современном информационном пространстве.

Ключевые слова: историческая память, медийный ресурс, общественное самосознание, информационное пространство, теория медиа, цифровая культура, медиаискусство, медиадизайн, медиапамять, медийный проект

Abstract

The article considers historical memory as a powerful media tool that can actively influence public consciousness in the context of digital transformation and hybridization of modern society. The works of domestic classics of personality psychology in conditions of specially organized activities

are analyzed. The need to develop students' skills to analyze and critically assess information from open sources, often unfriendly in nature, with very specific goals of influencing public opinion is emphasized. It is noted that media technologies can change the idea of history and the possibility of moving from understanding historical material to its analysis, and using it as part of the educational process is being considered. It is indicated that it is project activity with its stages of development that is an effective method of forming critical thinking, public self-awareness of student youth. Real examples show how students develop in-depth historical material of a local event, object or territory and further develop, on this basis, a project proposal. The purpose of this approach is to instill in students the skills of working with historical data in a digital environment, critical assessment of unconfirmed information. The author comes to the conclusion that the educational process today is becoming a field for practical testing of the work of historical memory as a media component, which becomes the main component, not only in matters of students mastering Russian history by designers, but also transmitting this knowledge to a wide audience, as well as forming professional competencies among designers vital for understanding the processes taking place in the modern information space.

Keywords: historical memory, media resource, public identity, information space, media theory, digital culture, media art, media design, media memory, media project

Введение

В современных условиях глобального противостояния отдельных государств в информационном пространстве историческая память начинает преобразовываться в механизм влияния на общественное самосознание. Одним из основных инструментов такого воздействия становится медийное поле с его специфической методологией и способами манипуляции. Объектом таких манипуляций чаще всего являются молодые люди, учащиеся колледжей, институтов и университетов. То есть, по сути, поколение людей, представляющее будущее нашей страны. Система образования, в этих условиях, становится прямым инструментом воспитания и развития у учащихся, и студентов компетенций по выявлению методов деструктивного влияния, становлению навыков по анализу данных из информационного пространства [1].

Исходя из данных условий, можно обозначить *актуальность* работы, которая выражается в следующем: историческая память сегодня становится мощным инструментом влияния на общественное сознание и может быть подана в различных интерпретациях. Информационное пространство в его цифровом виде является медийным ресурсом и полем, где разворачиваются основные действия. Индивидуальные особенности восприятия современного молодого поколения, выросшего со смартфоном, предполагает формирование особых компетенций по цифровой гигиене [2]. *Проблема исследования* здесь может быть обозначена как наличие опрелеленной дистанции между медиализацией информационного пространства с точки зрения исторической памяти и не достаточным количеством педагогических практик, развивающих специфические компетенции студентов при работе в этой сфере.

Обозначенная проблема может лечь в основу формулировки *гипотезы исследования*, выражающейся в предположении, что историческая память является самостоятельным медийным ресурсом в вопросах формирования общественного самосознания у современной учащейся молодежи. Для студентов медиадизайнеров, в частности, одной из важнейших компетенций должна стать способность подачи исторического контента как медийного продукта.

Основной *целью исследования* является обоснование предположения, что историческая память является специфическим медийным ресурсом формирования общественного самосознания и рассмотреть возможные пути построения учебных программ подготовки медиадизайнеров с учетом этих составляющих.

Ключевые *задачи исследования* можно обозначить как:

– дать возможность студентам исследовать само понятие историческая память и ее возможности в медийном плане с точки зрения идеологической работы;

– рассмотреть различные формы интерпретации ключевых исторических событий в медийном поле;

– определить основной вектор для формирования специфических компетенций студентов при работе с историческим материалом и разработкой медийного продукта;

– предложить способы интеграции медийных разработок в образовательный процесс студентов медиадизайнеров.

Методология исследования базируется на междисциплинарном подходе и объединяет инструментарий психологии, дизайна, медиаисследований, социологии и педагогики. В качестве теоретической основы использованы труды по теории деятельности и психологии памяти (Л.С. Выготский, А.Н. Леонтьев, В.В Нуркова), психология творчества и вопросы самосознания личности (Е.П. Ильин, А.В. Брушлинский, О.Ю. Голубева), и инновационной педагогики (Д.З. Ахметова, В.А. Сластенин, А.В. Хуторской).

Аналитический обзор

Историческая память – это многогранный феномен, который не следует отождествлять с академической историей, ориентированной на верифицируемые факты и объективность. Историческая память опирается на эмоциональное восприятие, коллективную интерпретацию прошлого и общественное самосознание [3]. Согласно концепции Я. Ассмана, это «живой» механизм культуры, который постоянно переосмысливает события, подстраивая их под актуальные запросы современности. Автор проводит границу между культурной памятью, опирающейся на культурологические институты, и социальной памятью. Если первая тяготеет к канонизации и закреплению в официальных структурах, то вторая отличается динамичностью и тесной связью с жизнедеятельностью общества. Однако в условиях цифровизации эта дихотомия размывается благодаря социальным сетям и пользовательскому материалу. Именно здесь происходит слияние институциональных и неформальных подходов, что порождает гибридные модели культуры [4]. По мнению некоторых зарубежных исследователей, современность конца XX века представлялась как некий «конец истории» (Ф. Фукуяма). Так, например, есть мнение, что это эпоха, в которой исторический процесс замедляется и останавливается, историческая память уходит из поля зрения. В отечественной науке (А.И. Миллер, В.А. Шнирельман и др.) историческая память рассматривается как пространство идеологической работы. Она существует в постоянном системном движении между стремлением к исторической правде и задачей формирования идентичности общества. Это может делать ее одновременно инструментом влияния и источником возможных общественных конфликтов [2, 5].

Данный феномен также отражает роль различных (старых и новых) медиа как активных субъектов конструирования исторической памяти. Эти конструкты не просто транслируют исторические данные, а могут создавать собственные интерпретации прошлого [6]. Ключевыми характеристиками медийной деятельности в сфере исторической памяти выступают:

– событийный акцент: упрощение исторического контекста в пользу наиболее зрелищных и драматичных моментов;

– эмоциональный вектор: приоритет чувственного восприятия над фактологической точностью, что повышает вовлеченность аудитории, но снижает уровень критического анализа;

– фрагментарность: представление истории в виде разрозненных, вырванных из контекста эпизодов, препятствующих формированию системного взгляда на тот или иной исторический период.

В силу этих особенностей можно также рассмотреть термин «медиапамять», исследуемый Д.С. Артамоновым и его системной социально-философской концепцией медиапамяти, как социокультурного феномена [4]. По мнению ученого, медиапамять формирует специфическую «линзу», через которую общество видит подаваемое ему, в определенном ракурсе,

историческое прошлое. Это делает творческий анализ и деконструкцию медийного контента обязательным условием современного образования.

Рассматривая теорию Н. Лумана о конструировании реальности медиасредствами, можно предположить, что цифровая среда лишь усугубляет искажения. Легкость доступа к информации не гарантирует её объективности. Потребитель информации может выбирать между примитивными, но привлекательными интерпретациями и сложными, требующими глубокого анализа архивными данными [7]. В результате историческая память превращается в инструмент конкуренции, где успех определяется не фактологической точностью, а способностью создать сильную эмоционально-вовлекающую ситуацию.

Социальные медиа породили новый продукт в виде короткого и эмоционального сюжета, называемого «мем», который можно представить как новый тип мемориальных практик [4]. В рамках этого явления пользователи могут самостоятельно генерировать и распространять контент, посвященный локальным историческим событиям. При этом полученный материал может иронизировать над устоявшимися, классическими представлениями о том или ином историческом событии. Примечательно, что мемы, вопреки ожиданиям, могут оказаться более действенным инструментом для формирования исторических представлений, чем академические исследования. Их высокая виральность, доступность и глубокая интеграция в повседневную коммуникацию способствуют включению в российскую «социальную историческую память». Часто такие материалы поступают в информационное пространство из недружественных источников. Для сферы образования эти тенденции представляют определенный вызов. Преподаватели вузов вынуждены реагировать на развитие альтернативной мемориальной культуры. Она не только существует параллельно с официальной наукой, но и конкурирует с ней, оказывая существенное воздействие на формирование исторических взглядов у студенческой аудитории.

В современных условиях система образования должна учитывать эти тенденции и делать ставку на формирование у студентов аналитического и синтетического мышления, а также критического анализа любого материала из внешних источников. Следовательно, студент постепенно становится исследователем-аналитиком, а не просто потребителем информации [8]. Данная компетенция может характеризоваться следующим образом:

– умение распознать приемы манипуляции, определенные искажения и несоответствия в информационном материале;

– способность сравнения различных интерпретаций одного события;

– навык рефлексии, позволяющий выявить критически важные аспекты проделанной работы;

– раскрыть возможные интересы создателей истерического материала (политические, коммерческие, личные и т.д.).

Историческая память как медийный ресурс может быть использована в образовательной практике с целью научить студентов анализировать неоднозначную информацию, вырабатывать свой взгляд на события и разрабатывать медиапроект на историческую тему. Опираясь на идеи о концепции гибридности, такая практика выводит образование в формат междисциплинарного знания [9].

Молодые люди перестают быть объектами влияния и манипуляции, раскрывают свои творческие силы, возможности и готовы к любым формам внешнего воздействия [10].

Методический раздел

Проектная деятельность студентов по медиадизайну в Казанском инновационном университете имени В.Г. Тимирясова предполагает разработку видеоролика исторического содержания. Выполнение такого задания позволяет студентам не только детально изучить отдельные эпизоды отечественной истории, но и выработать свои методы по формированию

концепции проектного замысла. Процесс проектирования здесь состоит из нескольких основных этапов:

– выбор определенного исторического эпизода или объекта и формирование темы проекта;

– аналитическое исследование и определение формата подачи материала;

– сочинение либретто и разработка сценария медиапродукта;

– непосредственное производство медиапродукта (монтаж, озвучивание);

– последующая рефлексия проделанной работы.

В рамках дисциплины «Основы производственного мастерства» одним из проектных заданий является разработка видеоролика исторического содержания на обобщенную тему «История предприятия оборонной отрасли в г. Казань». Учитывая, что в годы Великой Отечественной войны в город было эвакуировано около десяти различных организаций, у студентов был хороший выбор. Некоторые студенты выбирали предприятие по династийному признаку, так как в результате исследования выясняли, что их близкие родственники работали на этом предприятии. Работа первого этапа предполагала аналитическое исследование: посещение, при наличии возможности, территории и музея, взятие интервью у сотрудников и работников, изучение архивных материалов в аналоговом и цифровом формате, сбор данных из открытых источников.

Аналитическое исследование позволило студентам погрузиться в определенный исторический пласт, увидеть истоки и первопричины событий, выявить инициаторов и подстрекателей конфликтов международного масштаба, а также сформировать основную идею и концепцию проектного замысла.

Наряду с исследовательской работой проект предполагал сбор различной информации, видеосюжетов, архивных материалов (газеты, письма, приказы, распоряжения и т.д.) с последующим включением этих данных в свою работу. Сочинение либретто позволяет построить основной медийный вектор, определить состав объектов, персонажей их взаимодействие, пересечение и влияние на весь локальный исторический период. Разработка сценария позволяет четко выстроить линию сюжета, определить последовательность и продолжительность отдельных эпизодов, насытить материал звуковым содержанием, текстами. В процессе проектирования применялись генеративные технологии, позволяющие придать определенную динамику статичным изображениям, например при реконструкции таких фрагментов исторической памяти как фотография. Эта практика может обеспечивать новое восприятие архивных материалов в формате постепенного раскрытия большей панорамы или придание определенного действия персонажам исторического события.

Еще одно проектное задание включало разработку графического артбука для визуального сохранения семейной памяти. В основе исторических данных проекта лежат архивные фотографии, документы, статьи из газет, интервью и другие материалы семейного архива. Это более локальная проектная задача по созданию целостной дизайн-концепции печатного медиа. Основной упор делался на художественную интерпретацию и сохранение семейной истории средствами графического дизайна. Несмотря на кажущуюся простоту, именно личностная погруженность обеспечивает зарождение интереса к историческому прошлому. История семьи вплетается в общую историю страны, места, малой родины. Студент начинает по-новому смотреть на информационное пространство в целом.

В результате работы над проектом было сформировано мнение, что разработка проекта исторического содержания в медийной плоскости позволяет студентам как бы перенестись во времени, ощутить реальность бытия прошлого и пропустить через себя события ушедшей эпохи. Данная практика показала свою актуальность и состоятельность, что позволяет сформулировать несколько рекомендаций для дальнейшего применения:

– обеспечить связь тематики некоторых проектных заданий с определенным историческим периодом и возможное создание системы такой интеграции;

– учет междисциплинарной составляющей в данной проектной работе (культурология, история, психология, философия, педагогика);

– развитие компетенций при работе с историческими материалами и их встраивание в медийный проект;

– понимание этических аспектов подачи материала, так как аудитория проекта подобного рода достаточно разнообразна и разнохарактерна.

Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать некоторые выводы. Историческая память, в современных условиях глобальной цифровизации всего социокультурного пространства, представляется как феномен цивилизационного масштаба. По существу историческая память сама по себе является медийным ресурсом, так как имеет основные признаки медиализации – это движение и действие в пространстве и во времени. Наряду с этим историческая память позволяет формировать общественное самосознание. Данный аспект находит свое отражение в работе образовательных структур в виде развития определенных компетенций учащихся и студентов. Рекомендуется использовать исторический контекст при разработке учебных заданий для проектирования в области медиадизайна.

Список литературы

1. Ахметова, Д. З. Методология современного образования: синтез классического и инноватики // Педагогическое образование и наука. – 2024. – № 4. – С. 102-107.

2. Миллер, А. И. Историческая политика в России: новый поворот? / А. И. Миллер // Историческая политика в XXI веке / Под редакцией: А. Миллера, М. Липмана. – Москва: Редакция журнала «Новое литературное обозрение», 2012. – С. 328-367.

3. Голубева, О. Ю. Структура и динамика самосознания в условиях социокультурных трансформаций / О. Ю. Голубева // Социально-культурная деятельность: векторы исследовательских и практических перспектив: Материалы Международной научно-практической конференции, Казань, 23 мая 2025 года. – Казань: Казанский государственный институт культуры, 2025. – С. 359-362.

4. Артамонов, Д. С. Медиапамять в коммуникационном пространстве цифрового общества: специальность 5.7.7 «Социальная и политическая философия»: диссертация на соискание ученой степени доктора философских наук / Артамонов Денис Сергеевич; Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского. – Саратов, 2023. – 356 с.

5. Шнирельман, В. А. Война памяти: мифы, идентичность и политика в Закавказье. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 591 с.

6. Manovich L. The Language of New Media. Cambridge (MA): MIT Press, 2001. 400 p.

7. Луман, Н. Реальность массмедиа. – М.: Праксис, 2005. – 256 с.

8. Куренной, В. А. Память как проблема гуманитарных наук / В. А. Куренной // Отечественные записки. – 2013. – № 4 (55). – С. 45-62.

9. Мухутдинов, Р. Ф. Методы обучения студентов дизайнеров в сфере цифрового медиа проектирования / Р. Ф. Мухутдинов // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2024: сборник материалов. – Казань: ОСП «НЦБЖД АН РТ». – 2024. – Ч. 1. – С. 1117-1123.

10. Nora, P. Between Memory and History: Les Lieux de Mémoire // Representations. – 1989. – № 26. – P. 7-24.

УДК 37.04.371.3

ФОРМИРОВАНИЕ ОСНОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО САМООПРЕДЕЛЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ 6–7 КЛАССОВ СРЕДСТВАМИ ЦИФРОВОГО ДИЗАЙН-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Низамутдинова З.Ф., научный сотрудник Института Татарской энциклопедии и регионоведения им. М. Хасанова Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0002-6933-5867;
Морева Д.В., студент Института филологии и межкультурной коммуникации ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0006-8100-5373

DEVELOPING THE FOUNDATIONS OF PROFESSIONAL SELF-DETERMINATION IN 6TH–7TH GRADE STUDENTS THROUGH DIGITAL DESIGN MODELING

Nizamutdinova Z.F., research associate, Institute of the Tatar Encyclopedia and Regional Studies named after M. Khasanov of the Tatarstan Academy of Sciences; ORCID: 0000-0002-6933-5867;
Moreva D.V., student, Language Institute of Philology and Intercultural Communication of Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0006-8100-5373

Аннотация

В статье рассматривается процесс формирования основ профессионального самоопределения учащихся 6-7 классов с использованием цифрового дизайн-моделирования. Описаны основные этапы профориентированной учебной деятельности. Особое внимание уделено применению графических редакторов (CorelDRAW) при выполнении практических заданий, моделирующих реальные профессиональные задачи. Работа демонстрирует, что включение профессиональных проб и рефлексивного сопровождения позволяет учащимся не только освоить цифровые инструменты, но и осознанно оценить свои склонности и интересы к творческим профессиям. В статье обоснованы педагогические условия эффективного использования цифрового дизайн-моделирования в профориентационной работе. Предложенная методика может применяться в основной школе, а также в системе дополнительного образования и внеурочной деятельности.

Ключевые слова: профессиональное самоопределение, цифровое дизайн-моделирование, ранняя профориентация, художественное образование, графический дизайн, векторная графика, CorelDRAW, образовательные технологии, проектная деятельность

Abstract

The article examines the process of forming the foundations of professional self-determination among students in grades 6–7 using digital design modelling. The main stages of career-oriented educational activities are described. Special attention is paid to the use of graphic editors (CorelDRAW) when completing practical tasks that simulate real professional tasks. The work demonstrates that incorporating professional trials and reflective support enables students not only to master digital tools but also to consciously assess their inclinations and interests in creative professions. The article substantiates the pedagogical conditions for the effective use of digital design modeling in career guidance work. The proposed methodology can be applied in primary school, as well as in the system of additional education and extracurricular activities.

Keywords: professional self-determination, digital design modeling, early career guidance, art education, graphic design, vector graphics, CorelDRAW, educational technologies, project-based activities

Стремительное развитие цифровых технологий оказывает значительное влияние на современный мир во всех его аспектах. Одним из наиболее значимых направлений, требующих изменений в связи с этим, является общее школьное образование. Технологии стали неотъемлемой частью повседневной жизни. По прогнозам исследований рынка труда, к 2030 году значительная часть профессий будет связана с цифровыми технологиями и творческим проектированием, что делает их изучение первостепенной задачей и накладывает на современную систему образования обязательство по внедрению в учебную программу часов для изучения основ пользования цифровыми программами, а также требует пересмотра подходов к профориентационной работе в школе. Особое значение приобретает ранняя профориентация – работа с учащимися основной школы, когда происходит формирование интересов и склонностей. В 6-7 классах (возраст 12-14 лет) у школьников активно развивается самосознание, появляется интерес к своему будущему, формируются первичные профессиональные предпочтения. Вместе с тем, как показывает практика, профориентационная работа в этом возрасте часто носит фрагментарный характер и ограничивается традиционными формами – беседами, экскурсиями, тестированием.

Исходя из вышесказанного, поиск новых направлений обучения и профориентационных средств представляет особый интерес для нашего исследования. Ключевыми требованиями, предъявляемыми к искомым направлениям и средствам, является их возможность моделировать профессиональную деятельность в условиях образовательного процесса, обязательное практическое применение полученных знаний, а также доступность и разнообразие профессий, в которых эти знания и навыки можно будет применить. Таким средством, на наш взгляд, выступает цифровое дизайн-моделирование, то есть процесс создания визуальных проектов с использованием специализированного программного обеспечения. Данный процесс сочетает в себе такие векторы развития, как художественное творчество и креативное мышление, техническое конструирование, проектное мышление и т.д. Такой метод профориентации, в отличие от традиционных, предоставляет учащемуся не только получить информацию о профессии, но и практически освоить инструменты, используемые профессионалами в работе, выполнить задачи, приближенные к реальным заказам на рынке, и в конце увидеть наглядный результат произведенного труда, что повышает вовлеченность в учебный процесс и принципиально меняет характер профориентационной работы с информационной на практически-деятельностную.

Таким образом, цель настоящего исследования – теоретически обосновать использование цифрового дизайн-моделирования как средства формирования основ профессионального самоопределения у школьников 6-7 классов, а также создать методическую разработку, позволяющую в дальнейшем практически апробировать предложенный нами подход.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: выявить психолого-педагогические предпосылки использования цифрового дизайн-моделирования в профориентационной работе с младшими подростками; определить дидактические функции цифрового дизайн-моделирования как средства профориентации; разработать структуру и содержание профориентированного урока с использованием цифрового дизайн-моделирования; обосновать педагогические условия эффективности применения данного средства.

Теоретико-методологической основой исследования выступают деятельностный подход (Л. С. Выготский. А. Н. Леонтьев) и личностно-ориентированный подход (Е. В. Бондаревская. В. В. Сериков). В рамках деятельностного подхода профессиональное самоопределение рассматривается как процесс, связанный с активным освоением различных видов деятельности и построением представлений о возможном профессиональном будущем (1. с. 57-65).

В связи с этим цифровое дизайн-моделирование может рассматриваться как средство профориентационной работы, поскольку предполагает включение школьника в практическую проектную деятельность: постановку задачи, поиск и разработку решения, создание и представление дизайн-проекта. При этом учащийся получает возможность познакомиться с отдельными видами действий, характерными для проектной и дизайнерской деятельности, что создаёт условия для первоначального профессионального опыта. Значение практической и проектной деятельности для учащихся среднего школьного возраста также отмечается в исследованиях карьерной ориентации, где подчёркивается необходимость знакомства школьников с различными профессиональными возможностями и установления связи между учебной деятельностью и будущей профессиональной сферой [2, с. 1-9]. Личностно-ориентированный подход предполагает учёт индивидуальных особенностей, интересов и возможностей учащихся, создание условий для их субъектной активности и саморазвития [3, с. 17-24]. В контексте цифрового дизайн-моделирования это проявляется в возможности самостоятельного выбора замысла, способов решения проектной задачи и вариантов оформления результата, что позволяет учитывать индивидуальные интересы и создавать условия для проявления творческой инициативы учащихся.

Период подросткового возраста (12-14 лет), к которому относится значительная часть учащихся 6-7 классов, характеризуется развитием самосознания, представлений о себе, самооценки и рефлексивных возможностей [4, с. 264-271]. В этот период возрастает значение осмысления собственных интересов, способностей и возможных направлений дальнейшего развития. Средний школьный возраст рассматривается как значимый этап для начала систематического исследования профессиональных возможностей [2, с. 1 -9]. Одновременно у подростков развиваются познавательные предпосылки для выполнения более сложных проектных задач, в том числе связанных с пространственным представлением и преобразованием объектов. Так, исследование A. Safhalter, проведённое с участием 166 учащихся 11-14 лет, показало, что обучение 3D-моделированию способствовало улучшению пространственной визуализации учащихся [5, с. 167-184]. Кроме того, цифровое дизайн-моделирование как вид деятельности обеспечивает комплексное развитие у подростков целого спектра метапредметных и личностных качеств: оно способствует развитию креативности и вариативности мышления, поскольку работа над цифровым проектом требует поиска нестандартных решений в условиях заданных параметров. Освоение профессиональных графических редакторов формирует техническую грамотность и цифровую компетентность, а также навыки самоорганизации, критической оценки результатов и работы с обратной связью, что в совокупности составляет фундамент универсальных компетенций, востребованных не только в дизайнерских профессиях, но и в самых разных сферах современной экономики. Именно поэтому цифровое дизайн-моделирование может быть использовано в профориентационной работе с учащимися 6-7 классов как форма практико-ориентированной деятельности, позволяющая получить конкретный результат, проявить индивидуальные интересы и способности и соотнести полученный опыт с возможными направлениями дальнейшей образовательной и профессиональной деятельности. Для того чтобы понять, как именно цифровое дизайн-моделирование может выполнять функцию средства профориентации, необходимо рассмотреть его дидактические функции.

Первая – имитационно-тренировочная функция: работа в графических редакторах позволяет моделировать отдельные элементы профессиональной деятельности дизайнера, архитектора, иллюстратора и других специалистов, связанных с проектированием визуальных объектов. Учащийся осваивает цифровые инструменты и выполняет последовательность действий, характерных для проектной деятельности, – от разработки замысла и эскиза до создания и представления готового проекта. Это отличает цифровое дизайн-моделирование от преимущественно информационных форм профориентации: школьник не только получает

сведения о содержании профессиональной деятельности, но и выполняет профессионально ориентированные действия. Вторая функция – проектно-творческая: цифровое дизайн-моделирование предполагает создание завершённого продукта (логотипа, плаката, макета, интерфейса и др.), что требует от учащегося поиска и разработки собственного решения, применения творческого подхода и использования средств визуальной выразительности. Школьник осваивает визуальный язык как средство решения практической задачи: через цвет, шрифт и композицию он учится доносить смысл, выделять главное и делать информацию удобной для восприятия. Он пробует разные варианты, отбрасывает неудачные и фиксирует то, что работает. Это формирует навык осознанного выбора, а не действия наугад. Исследования дизайн-ориентированного обучения школьников показывают, что такая деятельность может способствовать развитию творческой уверенности, проектного и проблемного мышления [7, с. 1250–1263]. Третья функция – рефлексивно-оценочная: в процессе работы над проектом и его представления учащийся получает возможность анализировать выполненные действия, оценивать полученный результат и соотносить его с поставленной задачей и требованиями к проекту. Рефлексивный компонент имеет существенное значение и в профессиональной пробе, поскольку позволяет соотносить приобретённый опыт с собственными интересами, склонностями и возможностями [6, с. 16–20]. Четвёртая функция – мотивационно-ориентационная: практическое выполнение проектной задачи и получение завершённого продукта создают условия для более содержательного знакомства учащегося с соответствующей областью деятельности и последующего осмысления своего отношения к ней. При этом профориентационный эффект определяется не самим использованием цифрового инструмента, а содержанием проектной деятельности и её последующей рефлексией [6; 8].

Необходимо также остановиться подробнее на механизме профориентационного действия цифрового дизайн-моделирования. Ключевым элементом этого механизма может выступать профессиональная проба, понимаемая как специально организованная деятельность, моделирующая отдельные элементы профессиональной деятельности и позволяющая учащемуся получить первоначальный опыт их выполнения [6, с. 16-20]. В отличие от простого информирования, профессиональная проба предполагает активное действие учащегося и получение конкретного результата, что позволяет ему сопоставить содержание деятельности со своими интересами и индивидуальными возможностями. Цифровое дизайн-моделирование создаёт возможности для организации таких проб в моделирующем формате: компьютерная среда позволяет выполнять профессионально ориентированные задания без необходимости воспроизводить все условия реальной профессиональной деятельности. Например, разработка логотипа может моделировать отдельные задачи графического дизайнера; создание макета веб-страницы – элементы деятельности веб-дизайнера; разработка иллюстрации – отдельные задачи иллюстратора. Каждая такая проба позволяет школьнику не только получить первоначальный опыт выполнения профессионально ориентированных действий, но и оценить собственный интерес к соответствующему виду деятельности, возникающие трудности и субъективную успешность. Именно сочетание практического действия, получения результата и последующей рефлексии создаёт условия для формирования более осознанного отношения к возможным направлениям дальнейшего профессионального развития [6; 8].

Для практической реализации профориентационного потенциала цифрового дизайн-моделирования нами разработан план урока «Введение в профессию графического дизайнера: создание логотипа», рассчитанный на 2 академических часа (90 минут) и предназначенный для учащихся 6-7 классов. Выбор темы обусловлен тем, что создание логотипа представляет собой классическую профессиональную задачу графического дизайнера, доступную для понимания и выполнения школьниками, и при этом дающую возможность ощутить себя в роли профессионала. Структура урока выстроена таким образом, чтобы максимально полно реализовать профориентационный потенциал цифрового дизайн – моделирования, ниже представлена модель (рис. 1).



Рис. 1. Модель цифрового дизайн-моделирования, автор: Д.В. Морева, руководитель: З.Ф. Низамутдинова, ИФМК КФУ, август, 2026.

Первый этап урока – мотивационно-ориентационный (15 минут) – направлен на создание эмоционального фона и первичное знакомство с профессией. Учащимся демонстрируются примеры известных логотипов (Nike, Apple, «Яндекс»), организуется беседа о том, что такое бренд, зачем компаниям нужен логотип, какие чувства он вызывает. Педагог рассказывает о профессии графического дизайнера: содержании труда, востребованности на рынке, необходимых компетенциях, демонстрирует короткое видео о работе дизайнерской студии. Важно, что на этом этапе закладывается связь между предстоящей практической деятельностью и конкретной профессией: школьники понимают, что они будут делать то же, что и профессиональный дизайнер.

Второй этап – практико-ориентированный (50 минут) – является центральным с точки зрения профориентационного действия. Он включает последовательное выполнение заданий, каждое из которых моделирует отдельный аспект профессиональной деятельности дизайнера. Первое задание – знакомство с интерфейсом графического редактора CorelDRAW и создание простейших геометрических фигур. Выбор CorelDRAW обусловлен тем, что эта программа широко используется в профессиональной среде, и её освоение имеет непосредственную профориентационную ценность. Второе задание – работа с цветом: подбор цветовой гаммы для будущего логотипа с учётом психологии цвета (какие цвета ассоциируются с надёжностью,

творчеством, технологичностью). Это задание не только развивает художественный вкус, но и моделирует реальный этап работы дизайнера над брендом. Третье задание – создание логотипа для вымышленной компании («Школьный стартап», «Экопарк», «Цифровая мастерская»). Это полноценная профессиональная проба: школьник выступает как дизайнер, решающий задачу клиента, воплощающий смыслы в визуальную форму. Каждое действие сопровождается «профессиональным комментированием» – педагог поясняет, как аналогичная операция выполняется в профессиональной практике, какие критерии качества применяются, как дизайнер взаимодействует с заказчиком. Такое комментирование превращает учебное действие в осмысленную профессиональную деятельность и является ключевым условием использования цифрового дизайн-моделирования как средства профориентации.

Третий этап – рефлексивно-презентационный (25 минут) – направлен на осмысление профессионального опыта. Каждый учащийся представляет созданный логотип классу, объясняя замысел, цветовое решение и форму. Важно, что вопросы для рефлексии специально сформулированы так, чтобы акцентировать профессиональный аспект: «Какие качества нужны, чтобы стать хорошим дизайнером?», «Что было самым сложным и самым интересным в работе?», «Захотелось ли тебе узнать больше об этой профессии?». Такая рефлексия позволяет учащимся перевести практический опыт в плоскость осознанного самоопределения: они не просто создают продукт, но и анализируют своё отношение к деятельности, оценивают свои способности и интересы в контексте конкретной профессии. Завершается урок информацией о возможностях дальнейшего обучения и развития в сфере дизайна.

Таким образом, цифровое дизайн-моделирование выступает как средство профориентации не автоматически, а при соблюдении определённых педагогических условий. Первое – профессиональное комментирование деятельности: каждое учебное действие должно быть соотнесено с профессиональным, чтобы учащийся видел связь между тем, что он делает, и реальной профессией. Второе – рефлексивное сопровождение: важно не просто дать задание, но и помочь школьнику осмыслить свой опыт, ответить на вопросы о своих интересах, способностях и отношении к деятельности. Третье – вариативность профессиональных проб: необходимо знакомить школьников с разными направлениями дизайна и цифрового проектирования, чтобы каждый мог найти сферу, созвучную своим интересам. Четвёртое – доступность и постепенность: программное обеспечение должно быть доступным (бесплатные образовательные версии), а задания – выстроены от простых к сложным, чтобы снизить тревожность и обеспечить ситуацию успеха для каждого учащегося. Пятое – системность: разовые занятия не дают устойчивого эффекта, необходима система занятий, последовательно знакомящая с разными аспектами цифрового дизайн-моделирования и связанными с ними профессиями.

Разработанный урок является частью программы «Цифровое проектирование и мир дизайн-профессий», которая включает серию занятий, знакомящих учащихся с различными направлениями: графический дизайн, веб-дизайн, дизайн интерьеров, иллюстрация. Такая системность обеспечивает устойчивое формирование интереса и даёт учащимся возможность попробовать себя в разных профессиональных направлениях, что особенно важно в возрасте 12-14 лет, когда профессиональные предпочтения только начинают оформляться.

Подводя итог, можно утверждать, что цифровое дизайн-моделирование является эффективным средством профориентации учащихся 6-7 классов, поскольку оно переводит профориентационную работу из информационной плоскости в деятельностную, предоставляя школьникам возможность практического «проживания» профессиональных ролей. В отличие от традиционных форм профориентации, которые информируют, но не вовлекают, цифровое дизайн-моделирование создаёт условия для профессиональных проб, осмысления своих интересов и способностей, а также для формирования устойчивого познавательного интереса к конкретным профессиональным сферам. Эффективность этого средства обеспечивается его дидактическими функциями, а также соблюдением определенных педагогических условий. Разработанная программа и структура урока могут быть рекомендованы для использования

на уроках в основной школе, а также в системе дополнительного образования и внеурочной деятельности как инструмент ранней профориентации, отвечающий вызовам цифровой экономики и возрастным потребностям младших подростков.

Список литературы

1. Леонтьев Д. А., Шелобанова Е В. Профессиональное самоопределение как построение образов возможного будущего // Вопросы психологии. – 2001. – № 1. – С. 57-65.

2. Godbey S., Gordon H. R. D. Career Exploration at the Midde School Level: Barriers and Opportunities // Middle Grades Review. – 2019. – Vol. 5, № 2. – P. 1 -9. DOI: 10.70793/mgr.161.

3. Бондаревская Е В. Смыслы и стратегии личностно ориентированного воспитания // Педагогика. – 2001. – № 1. – С. 17-24.

4. Weil L. G., Fleming S. M., Dumontheil I., Kilford E. J., Weil R. S., Rees G., Dolan R. J., Blakemore S.-J. The development of metacognitive ability in adolescence // Consciousness and Cognition. – 2013. – Vol. 22, № 1. – P. 264-271.

5. Safhalter A., GlodeJ S., Sorgo A., Ploj Virtič M. Development of spatial thinking abilities in engineering 3D modeling course aimed at lower secondary students// International Journal of Technology and Design Education. – 2022. -Vol. 32, No. 1. – P. 167-184. DOI: 10.1007/s10798-020-09597-8.

6. Чистякова С. Н., Родичев Н. Ф., Лернер П. С., Гапоненко А. В. Профессиональные пробы: технология и методика проведения : методическое пособие для учителей общеобразовательных организаций / под ред. С. Н. Чистяковой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2014. – 208 с.

7. Niu X., et al. Nurturing middle school students' creative confidence through design-based learning // Research in Science & Technological Education. – 2024. – Vol. 42, No. 4. – P. 1250–1263. DOI: 10.1080/02635143.2023.2221199.

8. Association for Career and Technical Education. Career Exploration in Middle School: Setting Students on the Path to Success. – Alexandria, VA : ACTE, 2017.

УДК 378:003.077

ТРАНСФОРМАЦИЯ УЧЕБНОГО ЗАДАНИЯ В ЭПОХУ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ: ПРОМПТ КАК ИНСТРУМЕНТ ДИЗАЙН-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Низамутдинова З.Ф., научный сотрудник Института Татарской энциклопедии и регионоведения им. М. Хасанова Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0002-6933-5867;
Панфилович К.В., студент Института филологии и межкультурной коммуникации ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-8839-1727

TRANSFORMING THE LEARNING TASK IN THE AGE OF GENERATIVE AI: PROMPT AS A DESIGN MODELING TOOL

Nizamutdinova Z.F., Researcher at the M. Khasanov Institute of the Tatar Encyclopedia and Regional Studies of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0002-6933-5867;
Panfilovich K.V., Bachelor's degree student, Institute of Philology and Intercultural Communication of Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-8839-1727

Аннотация

Статья рассматривает применение генеративного искусственного интеллекта в школьном образовании, и разработку авторского промпта как инструмент проектирования учебных заданий. Наглядно демонстрируя практические примеры, как промпт позволяет адаптировать задания под уровень учащихся, развивать критическое мышление и организовывать взаимодействие с ИИ. Рассмотрены основные риски, включая недостоверность информации и подмену самостоятельной работы копированием готовых ответов.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект, промпт-дизайн, учебное задание, цифровое образование, школьное образование, критическое мышление, цифровая грамотность, персонализация обучения, искусственный интеллект в образовании

Abstract

The article is devoted to the use of generative artificial intelligence in school education and examines the prompt as a tool for designing learning tasks. Examples show how a prompt makes it possible to adapt tasks to the level of schoolchildren, develop critical thinking, and organize interaction with AI. The main risks are considered, including the unreliability of information and the substitution of independent work with copying ready-made answers.

Keywords: generative artificial intelligence, prompt design, learning task, digital education, school education, critical thinking, digital literacy, learning personalization, artificial intelligence in education

Распространение генеративного искусственного интеллекта заметно меняет привычную организацию образовательного процесса. Если раньше учебное задание в основном задавало обучающемуся последовательность действий и конечный результат, то появление систем, способных создавать тексты, изображения, программный код и аналитические материалы, поставило под вопрос саму конструкцию такого задания. Формулировка «написать реферат» или «подготовить эссе» уже не гарантирует самостоятельного выполнения работы, поскольку значительная часть операций может быть передана генеративной системе. В результате меняется не только контроль знаний, но и само понимание того, каким должно быть современное учебное задание.

Актуальность темы связана с переходом от простого использования генеративного ИИ к осознанному проектированию взаимодействия обучающегося с цифровой системой. Особое значение приобретает промпт, который выступает не только инструкцией для получения ответа от нейросети, но и элементом проектирования учебной деятельности. Через формулировку задачи, контекст, ограничения, критерии качества и требуемый формат результата можно задавать структуру взаимодействия человека и ИИ. Такой подход позволяет рассматривать промпт как инструмент дизайн-моделирования, способный изменять содержание, последовательность и характер учебных действий.

Для образовательной практики данный переход имеет принципиальное значение. Проблема заключается уже не в том, разрешать или запрещать использование генеративного ИИ, а в том, как перестроить учебные задания так, чтобы технология становилась частью осмысленной познавательной деятельности, а не механизмом автоматической выдачи готового результата.

Цель статьи заключается в раскрытии возможностей промпта как инструмента дизайн-моделирования учебного задания в условиях распространения генеративного ИИ.

Для достижения поставленной цели решаются три задачи. Первая связана с рассмотрением изменений в логике учебного задания под воздействием генеративного ИИ. Вторая направлена на раскрытие возможностей промпта как инструмента проектирования учебной деятельности. Третья предполагает анализ практических возможностей и ограничений промпт-дизайна в образовательной среде.

Учебное задание в условиях генеративного ИИ и изменение логики его проектирования

Учебное задание традиционно определяет познавательную задачу, ожидаемый результат и последовательность действий обучающегося. Распространение генеративного искусственного интеллекта изменило эту модель: между постановкой задачи и готовым результатом появляется цифровая система, способная создавать тексты, анализировать информацию и предлагать варианты решения [6; 7].

Изменения особенно заметны в письменных работах. Задание «написать сочинение-рассуждение» раньше предполагало самостоятельный поиск аргументов и выстраивание логики текста. Теперь школьник может получить структуру от генеративной системы, запросить примеры и использовать ИИ для редактирования. Итоговый текст при этом не показывает, какая часть интеллектуальной работы выполнена самим учащимся [9]. В материалах EDUCAUSE подобные способы применения ИИ рассматриваются как распространённые элементы современной учебной практики.

На этой основе меняется и само задание. Вместо требования «подготовить доклад» обучающемуся предлагается сформулировать вопросы по теме, получить ответы от ИИ, проверить их по учебнику и выделить обнаруженные неточности. Объектом оценки становится не созданный нейросетью текст, а способность обнаружить ошибку, объяснить её причину и предложить исправление [3]. Результатом выступает не только готовый продукт, но и зафиксированный процесс: постановка задачи, формулирование промпта, проверка информации, редактирование и обоснование решения [8].

Меняются и критерии оценки: помимо качества конечного продукта учитываются аргументированность решений, способность проверять ответы генеративной системы и самостоятельность переработки материала. Важным становится не сам факт использования ИИ, а характер взаимодействия с ним [5].

Показательно различие двух заданий. В первом школьнику предлагается пересказать правило употребления времён Present Perfect и Past Simple. Во втором – сформулировать собственное объяснение, получить два варианта от ИИ, проверить их по учебнику и представить исправленный аргументированный вариант. Во втором случае генеративная система становится частью учебной деятельности, но не заменяет её полностью [1]. Приведём конкретный пример подобного задания.

Учебное задание с использованием генеративного ИИ.

Предмет: английский язык, 8 класс.

Тема: Present Perfect vs Past Simple.

Формат: индивидуальная письменная работа + лист проверки.

Последовательность действий:

1. Сформулируйте своими словами (на русском языке) краткое объяснение различия между Present Perfect и Past Simple (4–5 предложений, без обращения к ИИ).

2. Составьте промпт для генеративной системы: запросите два варианта объяснения того же правила на английском языке. Укажите в промпте уровень (A2–B1), объём (не более 150 слов на вариант) и требование привести по три примера предложений.

3. Сопоставьте полученные объяснения с правилом в учебнике. В листе проверки зафиксируйте: а) грамматические или фактические неточности в ответах ИИ; б) примеры, которые не соответствуют правилу или звучат неестественно.

4. На основе проверки напишите собственный короткий текст на английском языке (6–8 предложений: мини-рассказ о недавнем путешествии), в котором осознанно использованы оба времени.

5. Приложите к работе сохранённый промпт, два ответа ИИ и заполненный лист проверки.

Критерии оценки: точность собственного объяснения правила (20 %); полнота верификации ответов ИИ (30 %); грамматическая корректность и уместность употребления времён

в итоговом тексте (30 %); рефлексивность при формулировании промпта и интерпретации результатов (20 %).

Именно здесь промпт выступает как инструмент дизайн-моделирования: через него задаются контекст, ограничения, последовательность действий, критерии результата и формат ответа. Промпт становится не просто запросом к нейросети, а элементом проектирования учебного процесса.

В результате учебное задание в условиях генеративного ИИ смещается от проверки готового продукта к проектированию деятельности, которая к этому продукту приводит. Для учителя важным становится не только определить, что должен получить школьник, но и продумать, какие действия тот выполняет при взаимодействии с цифровой системой. Именно эта логика создаёт основу для дальнейшего рассмотрения промпта как инструмента дизайн-моделирования.

Промпт как инструмент дизайн-моделирования учебной деятельности

Когда генеративный ИИ вошёл в повседневную практику вузов и школ промпт стал частью образовательного дизайна. Когда человек пишет в чат-бот «расскажи про фотосинтез», он ждёт готовый текст – и получает его. На этом взаимодействие, как правило, заканчивается. Учебный промпт решает более сложную задачу, он задаёт условия взаимодействия ученика с цифровой системой и помогает связать использование ИИ с конкретной образовательной целью.

Нет необходимости, написать промпт на три страницы. Гораздо важнее, какие именно «рельсы» вы прокладываете для модели. Значимую роль играют контекст задания, исходные данные, ограничения, требования к результату и критерии его оценки [7; 8]. Например, запрос «объясни цифровую трансформацию образования» оставляет системе значительную свободу. Более содержательная конструкция может потребовать объяснить явление через три конкретных фактора, отделить подтверждённые факты от предположений или завершить ответ вопросами для самостоятельной проверки. Промпт перестаёт быть «вопросом к справочнику» и превращается в черновик учебного сценария. В результате ученик взаимодействует не только с готовым ответом ИИ, но и с процессом его получения и оценки.

Особенно продуктивным становится итеративный формат работы. На первом этапе автор работы формулирует собственный вариант решения. Затем просит ИИ предложить альтернативу, сравнивая её со своей. На последнем этапе получает критические замечания и рекомендации по улучшению [8]. Такой подход развивает у школьников навыки аргументации и рефлексии, а также формирует культуру диалога с цифровым инструментом.

Проиллюстрировать зависимость уровня конкретизации промпта и соответствие результата учебной задаче, можно на примере визуальной генерации образа – Маскота для учебного центра водных видов активностей Aqua Ana с использованием проработанного промпта и без него. При генерации общего запроса нейросеть опиралась на наиболее вероятные паттерны, что привело к высокому уровню вариативности. Включение в авторский промпт конкретных требований таких как: назначение персонажа (маскот образовательного проекта), тип персонажа (русалка), стилистические ограничения (плоская декоративная графика, упрощённые формы, чёткий контур), композиционные требования (центральное расположение, симметрия, круговое обрамление), цветовые ограничения (сине-зелёная гамма с золотыми акцентами), требования к характеру образа (доброжелательность, спокойное выражение) и требования к дальнейшему применению результата (возможность использования в различных форматах) позволило существенно сузить пространство решений и получить результат, ближе соответствующий авторскому замыслу.

Сравнение показывает, что общая формулировка запроса приводит к получению эстетически привлекательного, но сложного и малоприменимого для учебного контекста результата. Авторский промпт, включающий указания на стилистику, цветовую палитру, композицию и характер образа, позволил получитъ маскота, отвечающего требованиям проекта: лаконич-

ный, узнаваемый, функциональный и легко адаптируемый для последующего использования. Этот пример демонстрирует что промпт можно использовать как инструмент дизайн-моделирования, позволяющий обучающемуся влиять на получаемый цифровой продукт (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный визуальный анализ результатов генерации студенческого проекта «AQVA ANA» (Центр обучения водным видам активности) на примере маскота при различной степени проработанности промпта, автор: К.В. Панфилович, руководитель: З.Ф. Низамутдинова, ИФМК КФУ, апрель, 2026.

Без авторского промпта	С авторским промптом
	
Высокая детализация, аниме стилистика, сложная цветовая палитра, большое количество декоративных элементов. Образ яркий и детализированный, но не соответствует целям создания стилизованного маскота для образовательного проекта. Основные минусы: 1. Меньшая читаемость в уменьшении - при сильном уменьшении теряются тонкие детали; не всегда удобна для мелкого мерча (значки, иконки). 2. Сложность в векторизации/печати - градиенты и тонкие штрихи труднее переносить в печатные технологии без коррекции. 3. Менее строгая композиция - отсутствие рамки/фона может осложнить использование в шаблонах бренда. 4. Меньший контроль воспроизводимости - без авторского промпта трудно получить несколько изображений в едином стиле.	Упрощённый стилизованный образ, ограниченная палитра (сине-зелёные и золотые оттенки), чёткая геометрия, акцент на узнаваемость и символичность. Результат соответствует задачам проекта и легко адаптируется для учебных материалов. Основные плюсы : 1. Чёткая, графичная стилизация - лаконичные формы, контур, декоративная рамка; высокая читаемость в малых размерах. 2. Универсальность для бренда/мерча - легко применять на значках, стикерах, логотипах, сувенирах. 3. Консистентность и управляемость - авторский промпт даёт повторяемый стиль и предсказуемый результат. 4. Удобна для векторизации и печати - минимальные градиенты, чистые заливки, простая палитр
Сравнение и рекомендации: 1. Если цель - артистическая иллюстрация, постер, крупный принт: выбирать левую картинку - она богаче по фактуре и эмоциональна. Для печати и веб-галереи стоит подготовить версии с контрастной обрезкой и вариантами фона. 2. Если цель - брендинг, мерч, иконка, логотип, набор универсальных иллюстраций: правая картинка предпочтительнее - она масштабируема, легко векторизуется и даёт единый стиль при повторной генерации. 3. Для комбинированных задач — можно: использовать левую как «hero» (главное изображение) и правую как фирменную «иконку» или упрощённую версию; подготовить с авторским промптом варианты с различной степенью детализации (full/detail/simplified).	

Промпт может задавать и уровень сложности задания. Для начального уровня достаточно запроса на объяснение понятия с примерами. Более сложный вариант требует сравнить несколько подходов и указать их ограничения. Продвинутый сценарий предполагает самостоятельное формулирование критериев оценки ответа ИИ и проверку его по внешним источникам. Получается своеобразная шкала, на которой меняется не только сложность запроса, но и степень интеллектуальной ответственности студента.

При использовании генеративного ИИ роль учителя изменяется, дополняясь уровнем проектирования. Преподавателю необходимо определить:

– на каком этапе школьник обращается к системе;

– какую функцию она выполняет;

– какие операции остаются самостоятельными;

– каким способом фиксируется процесс взаимодействия [3].

В результате промпт можно рассматривать как элемент дизайн-моделирования учебной деятельности. Он соединяет образовательную цель, действия обучающегося и возможности генеративной системы. Чем точнее построена эта связь, тем меньше вероятность, что ИИ просто заменит выполнение задания, и тем выше его потенциал как инструмента обучения.

Возможности и ограничения промпт-дизайна в образовательной практике

Использование промпта как элемента учебного задания позволяет перестроить задание под конкретный класс, а не писать его «на среднего ученика». Модель объединяет в себе множество функций: может подсказать идею для проекта, задать каверзный вопрос, на который ученик не ответил бы сам. А может просто подтвердить: «Да, ты рассуждаешь в верном направлении».

Возьмём 6-й класс, тема – Past Simple. Первый промпт, который ученик вводит по шаблону учителя: «Объясни правило Past Simple так, будто мне 10 лет, и приведи три примера из жизни подростка». Второй запрос: «Теперь объясни то же правило, но как будто ты строгий экзаменатор: используй термины irregular verbs, auxiliary, и добавь ловушку, в которую часто попадают». Ученик получает два текста, сравнивает их и в тетради фиксирует: что совпало, что различается, какой вариант ему понятнее и почему. Это способствует не заучиванию грамматики, а рассмотрению ее с разных сторон [8].

Промпт позволяет создавать задания с разным уровнем сложности. Как отмечалось выше, степень самостоятельности при работе с промптом возрастает от класса к классу [1, 2].

ИИ способен брать на себя роль собеседника или оппонента. Например, на уроке обществознания ученик может попросить систему представить несколько участников общественной дискуссии и сформулировать их позиции. Затем ученик сравнивает аргументы персонажей, определяет сильные и слабые стороны каждой позиции и формирует собственное мнение. В этом случае генеративная система становится инструментом моделирования, а не источником готового ответа [7, 8].

Использование ИИ в школе сопряжено с рядом ограничений, превращающих слепое доверие к технологии в главный образовательный риск:

1. Генеративные модели часто допускают скрытые ошибки: выдуманная историческая дата или неуместная для возраста терминология подаются с той же уверенностью, что и достоверные факты, а школьник не всегда способен это распознать [6].

2. Угроза подмены обучения копированием: если ученик просто переносит сгенерированный текст в тетрадь, он тренирует лишь навык работы с интерфейсом, создавая лишь иллюзию выполненного задания.

3. Разные нейросети выдают противоречивые ответы на идентичные запросы, поэтому результат генерации никогда не бывает автоматически правильным. В этих условиях фокус смещается с составления «идеального промпта» на развитие критического мышления: обязательными элементами учебного сценария должны становиться перекрёстная проверка фак-

тов, поиск уязвимостей в тексте нейросети, исправление ошибок и аргументированное объяснение итогового вывода самим ребёнком [9].

Наиболее продуктивной представляется модель, при которой ИИ помогает школьнику выполнять отдельные операции, но не заменяет его собственную работу. Система может предложить варианты, объяснить материал или указать на возможную ошибку, однако окончательный анализ, проверка информации и формулирование вывода остаются за учеником [7; 8].

Для учителя это означает необходимость проектировать не только содержание задания, но и сценарий взаимодействия школьника с ИИ. В таком сценарии заранее определяются учебная цель, функция генеративной системы, последовательность действий и критерии оценки. Это позволяет использовать возможности технологии без превращения задания в простое получение готового ответа.

Проведённый анализ показывает, что генеративные модели меняют сам подход к проектированию учебных заданий. Если раньше главным доказательством работы ученика был готовый продукт – сочинение, презентация, ответ – то теперь этот продукт может быть создан за один запрос к ИИ. Поэтому на первый план выходит процесс: как ученик ставит задачу, как выстраивает промпты, как проверяет то, что получила модель, и как обосновывает свой итоговый вывод. Как было показано в разделах 1–3, промпт в этой логике перестаёт быть просто запросом и становится способом задать рамки: предметную область, формат и последовательность шагов.

Список литературы

1. Единое содержание общего образования. Искусственный интеллект: рабочая программа курса внеурочной деятельности для обучающихся 5–9 классов. – Москва, 2024.

2. Левченко, И. В. Формирование содержательных модулей для обучения искусственному интеллекту в основной школе / И. В. Левченко, П. А. Меренкова // Информатика и образование. – 2021. – № 6. – С. 45–53.

3. Министерство просвещения Российской Федерации. Методические рекомендации по изучению основ искусственного интеллекта в учебном предмете «Информатика» основного общего образования и внеурочной деятельности. – Москва, 2025.

4. Пугач, О. И. Применение генеративного искусственного интеллекта в методической работе преподавателя вуза: разработка контрольно-измерительных материалов / О. И. Пугач, Н. В. Старцева // Russian Journal of Education and Psychology. – 2024. – Т. 15, № 5. – С. 562–575. – DOI: 10.12731/2658-4034-2024-15-5SE-562.

5. Cotton D. R. E., Cotton P. A., Shipway J. R. Chatting and Cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT // Innovations in Education and Teaching International. – 2024. – Vol. 61, № 2. – P. 228–239.

6. Kasneci E., Sessler K., Küchemann S., Bannert M., Dementieva D., Fischer F. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education // Learning and Individual Differences. – 2023. – Vol. 103. – Article 102274. – DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.

7. Miao F., Holmes W. Guidance for Generative AI in Education and Research. – Paris: UNESCO, 2023. – 44 p.

8. Mollick E., Mollick L. Assigning AI: Seven Approaches for Students with Prompts. – Boston: Harvard Business School, 2023.

9. Tlili A., Shehata B., Adarkwah M. A., Bozkurt A., Hickey D. T., Huang R., Agyemang B. What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education // Smart Learning Environments. – 2023. – Vol. 10. – Article 15. – DOI: 10.1186/s40561-023-00237-x.

УДК 373 : 364.6

ВЛИЯНИЕ ФЕНОМЕНА «ЦИФРОВОГО ПОБЕГА» НА СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ РЕБЕНКА В УСЛОВИЯХ СЕМЕЙНОГО НЕБЛАГОПОЛУЧИЯ

Никитенко П.А., магистрант, педагог-психолог ГУО «Средняя школа № 16 г. Витебска имени М.И. Дружинина»;
Крестьянинова Т.Ю., научный руководитель, к.б.н., доцент Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь;
ORCID: 0000-0002-3021-8081

THE IMPACT OF THE «DIGITAL ESCAPE» PHENOMENON ON THE SOCIAL DEVELOPMENT OF A CHILD IN CONDITIONS OF FAMILY DYSFUNCTION

Nikitenko P.A., Master's Student, Educational Psychologist, Secondary School №16 of Vitebsk named after M.I. Druzhinin;
Krestyaninova T.Yu., PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Republic of Belarus;
ORCID: 0000-0002-3021-8081

Аннотация

Современное детство проходит в условиях глубокой цифровой трансформации общества, где онлайн-пространство и информационные технологии стали неотъемлемой средой развития, общения и социализации. Параллельно с этим сохраняется острота социальных проблем, среди которых семейное неблагополучие, в частности связанное с алкогольной зависимостью родителей, остается одним из наиболее травмирующих факторов для психики ребенка. Необходимо научное осмысление того, как защитный механизм «побега» в цифровое пространство, изначально выполняющий компенсаторную функцию, влияет на ключевые процессы социального развития личности ребенка, и без того искаженные условиями семейного неблагополучия.

Ключевые слова: алкогольная семья, цифровой побег, социальное развитие, семейное неблагополучие, избегание, развитие

Abstract

Modern childhood takes place in the context of profound digital transformation of society, where the online space and information technologies have become an integral part of development, communication, and socialization. At the same time, social problems persist, including family dysfunction, particularly related to parental alcohol addiction, which remains one of the most traumatic factors for a child's psyche. There is a need for scientific understanding of how the protective mechanism of «escape» into the digital space, which initially performs a compensatory function, impacts the key processes of a social development of a child's personality, already distorted by the conditions of family dysfunction.

Keywords: alcoholic family, digital escape, social development, family dysfunction, avoidance, development

Введение

Каждый ребенок формируется в результате активного взаимодействия с людьми и окружающим его миром. Первым обществом для любого человека становится семья. Главная

задача этого общества – способствовать зарождению основ личности и способствовать приобретению общественных ценностей и норм социальной среды [1]. Понятие «социальное неблагополучие» в рамках алкогольной зависимости родителей представляет собой комплексную и многоаспектную характеристику семейной ситуации, где хроническое злоупотребление алкоголем одним или обоими родителями выступает ключевым деструктивным фактором, порождающим и усугубляющим целый спектр негативных социальных, экономических, психологических и правовых условий жизни семьи и, в первую очередь, детей.

При хронической алкогольной зависимости личность больного искажается и разрушается. Результаты исследования Г.Ф. Муртазиной свидетельствуют, что у больного алкоголизмом происходят грубые нарушения во многих сферах: самооценка, мотивация, адаптивность, восприятие, память и так далее, – они склонны к подозрительности, инфантильности [2].

К характерным особенностям личности алкогольнозависимых они относят:

– крайне выраженный инфантилизм и незрелость;
– аффективное поведение;
– сниженная критичность к себе и завышенные ожидания к другим;
– гиперчувствительность и обидчивость;
– крайний эгоизм;
– склонность к самообману;
– безответственность, граничащая со лживостью [3].

Важнейшим условием благополучного развития ребенка является эмоциональное общение со значимым взрослым, которое формирует основы его психоэмоционального состояние и когнитивного развития. Однако, когда взрослый в семье страдает от алкогольной зависимости и сам не способен предоставить качественное, здоровое эмоциональное общение, то это приводит к трудностям как для ребенка, так и для всей семьи в целом [4].

Цифровой побег – это психологический феномен и поведенческая стратегия, при которой человек, чаще всего ребенок или подросток, испытывающий психологический дискомфорт, стресс или травмирующие обстоятельства в реальной жизни, целенаправленно и интенсивно погружается в цифровое пространство – интернет, видеоигры, социальные сети, виртуальные миры – с целью создания альтернативной реальности.

«Цифровой побег» становится для ребенка из дисфункциональной семьи не просто развлечением, а жизненно важной компенсаторной и защитной стратегией, виртуальным убежищем от невыносимой действительности. В онлайн-пространстве он может создать новый, приемлемый образ себя, получить признание и достижения, которых лишен в реальной жизни, и обрести чувство принадлежности к сообществу. Однако эта компенсация носит двойственный характер: с одной стороны, она действительно выполняет психотерапевтическую функцию, давая передышку и сохраняя психику, но с другой – она закрепляет и углубляет проблемы социального развития.

1. Анализ социальной адаптации детей из семей в социально опасном положении

Нами было проведено исследование, целью которого было сравнение уровня социальной адаптации у обучающихся из благополучных и из дисфункциональных семей. Алкогольная зависимость родителей часто связана с причинами постановки ученика в социально опасное положение. В исследовании приняло участие всего 72 обучающихся 5-8 классов, где выявлен наибольший процент учеников, состоявших в СОП.

Посредством анализа результатов исследования социальной адаптации среди школьников можно сделать вывод, что среднее значение адаптации у обучающихся в СОП ниже, чем у остальных учеников. У учеников, состоящих в СОП, уровень адаптации в среднем составляет 55,5%, в то время как у других процент составляет 64,2%, что представлено на рис. 1.

Рассматривая чрезвычайно низкий уровень дезадаптивности среди респондентов, можно отметить его превышение на 22,3% у учеников, никогда не состоявших в социально опасном положении. У остальной части класса чрезвычайно низкий уровень дезадаптивности

встречается у 25% (18), а у учеников в СОП у 2,7% (2), что отражено на рис. 2. Такой низкий уровень дезадаптации говорит об очень высокой способности к адаптации в различных ситуациях и условиях. Это свидетельствует об успешном приспособлении к переменам, умению решать возникшие проблемы и эффективно функционировать в социуме.

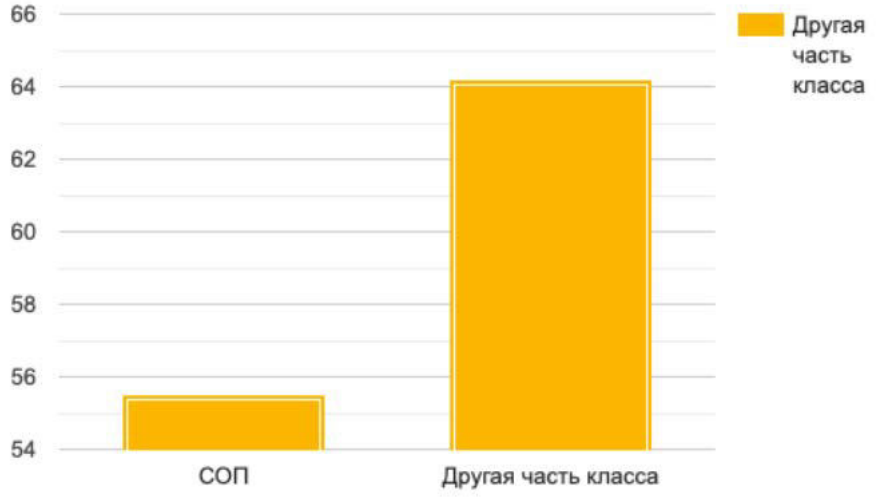


Рис. 1. Сравнение уровня адаптации (среднее значение)

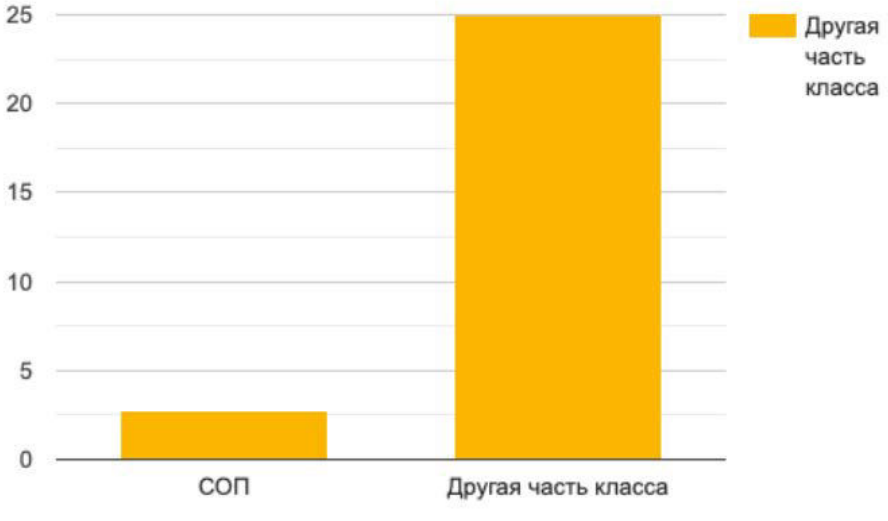


Рис. 2. Сравнение чрезвычайно низкого уровня дезадаптивности

Таким образом, по результатам исследования можно отметить, что уровень адаптации у учеников в СОП ниже, чем у остальной части класса. Среди учеников в СОП наиболее часто встречаются утверждения о том, что они чувствуют себя ведомым, а не ведущим; о страхе чужого мнения, о сомнениях в том, что они могут как-либо выразить себя и свою индивидуальность. Однако среди таких учеников наблюдается и высокий уровень адаптации (82%), и средний (62%, 67%).

Такие результаты можно рассмотреть с двух сторон. Во-первых, дети из зависимых семей могут иметь трудности в эмоциональной сфере из-за неблагоприятной семейной атмосферы, неопределенности, недостаточного внимания и заботы со стороны родителей, стигматизацией и чувства стыда. Эти и другие факторы могут сказываться на психологическом и эмоциональном состоянии ребенка, что может затруднить его социальную адаптацию и процесс выстраивания крепких и здоровых отношений с другими.

С другой стороны, дети из алкогольных семей могут вырабатывать у себя стратегии выживания и навыки приспособления к сложным ситуациям и условиям. Они могут обладать навыком быстрого считывания эмоциональных изменений другого человека, поскольку в своей семье им часто приходилось угадывать настроение зависимого родителя. Такие дети могут быть более адаптивными в нестабильных и конфликтных ситуациях, более общительными и изворотливыми.

2. Риски цифровой социализации и технологические возможности помощи

Цифровой побег для ребенка из неблагополучной социальной среды – это не просто развлечение, а часто жизненно важная компенсаторная стратегия, способ справиться с травмой, насилием, заброшенностью или хроническим стрессом. Однако этот, на первый взгляд, спасительный уход в виртуальные миры порождает комплекс взаимосвязанных рисков, которые могут усугубить исходное неблагополучие и сформировать долгосрочные негативные последствия.

Первичный риск заключается в укреплении деструктивной идентичности. Психологическая причина отсутствия цифровой идентичности довольно распространена и связана с желанием пользователя цифрового контента создать себе воображаемый образ [5].

В контексте цифрового побега этот процесс приобретает характер не просто игры, а глубокой экзистенциальной компенсации, коренящейся в разделении «Я-реального» и «Я-идеального» (по К. Хорни) или «Я-желаемого» [5]. «Я-реальное» ребенка из неблагополучной семьи зачастую травмировано: оно ассоциируется с чувством беспомощности, стыда, отверженности и низкой самооценкой, сформированными в дисфункциональной семейной системе. «Я-желаемое», напротив, воплощает в себе фантазийные атрибуты силы, компетентности, социальной привлекательности, признания и контроля – всего того, что остро дефицитно в реальной жизни. Цифровая среда, с ее анонимностью и пластичностью становится идеальным пространством для конструирования «Я-виртуального» как проекции этого «Я-желаемого». Однако данный компенсаторный механизм порождает ряд серьезных системных рисков.

Во-первых, возникает феномен «онлайн-диссоциации», когда виртуальная идентичность не просто дополняет, а замещает реальную, приводя к усилению отчуждения от своего подлинного «Я» и к размыванию личностных границ. Во-вторых, происходит подмена реального социально-психологического развития его симулякром: навыки, статус и отношения, добытые в виртуальном мире, не проходят апробацию в сложной, многомерной реальности, что ведет к формированию «хрупкой» идентичности, неспособной к адаптации и противостоянию реальным стрессам. В-третьих, интенсивный цифровой побег усугубляет социальную дезадаптацию: уход в виртуальное убежище сокращает и без того скудные возможности для формирования здоровых привязанностей, эмпатии и коммуникативных навыков в офлайн-среде, закрепляя паттерны избегания.

Наконец, цифровой побег создает порочный круг, блокирующий получение реальной помощи. Погружение в виртуальную реальность маскирует глубину психологических проблем, отдаляет ребенка от потенциальных источников поддержки (педагогов, психологов, неравнодушных взрослых) и создает иллюзию благополучия, в то время как реальные травмы и дефициты не исчезают, а лишь прогрессируют.

В ситуации, когда реальная домашняя среда характеризуется конфликтами, эмоциональной холодностью, пренебрежением или насилием, виртуальные пространства – игры, социальные сети, форумы, видеоплатформы – могут неосознанно избираться ребенком в качестве компенсаторного механизма.

Этот побег выполняет ряд психологических защитных функций: он предлагает временное убежище от травмирующей реальности, снижает уровень стресса и тревоги, позволяет пережить опыт контроля, часто отсутствующий в семье. В цифровой среде ребенок может выстроить желаемую идентичность, добиться признания и мастерства, найти сообщества по интересам и ощутить виртуальную социальную поддержку от сверстников или наставников.

Таким образом, на определенном этапе цифровой побег может выступать как адаптивный инструмент психологической самопомощи, предотвращая более тяжелые последствия хронического стресса, такие как депрессия или полная социальная изоляция. Однако ключевой вопрос заключается в балансе и качестве этого побега. Если он трансформируется из ситуационного убежища в перманентное и единственное жизненное пространство, то его поддерживающая функция нивелируется, уступая место рискам. Происходит подмена реальных социальных навыков виртуальными, закрепляется избегающее поведение, а эмоциональные ресурсы, которые могли бы быть направлены на изменение реальной ситуации, полностью истощаются в виртуальном мире.

Следовательно, цифровой побег как инструмент поддержки является амбивалентным: в краткосрочной перспективе он может служить спасительным буфером, но в долгосрочной – без корректирующего вмешательства взрослых (педагогов, психологов) и улучшения семейной ситуации – он способен закрепить дезадаптацию, затрудняя развитие полноценных социальных компетенций, необходимых для жизни в офлайн-реальности.

В дисфункциональной семье ребенок часто сталкивается с отвержением, непониманием или критикой, что ведет к глубокому чувству одиночества и собственной незначимости. Онлайн-сообщества, будь то форумы по интересам, группы в социальных сетях или платформы для совместного творчества, предоставляют возможность найти «своих». Здесь ценность индивида определяется не семейным статусом или успехами в школе, а его знаниями, навыками, вовлеченностью и способностью следовать нормам конкретной субкультуры. Получение признания через лайки, позитивные комментарии, увеличение числа подписчиков или уважение внутри многопользовательской игры становится мощным источником самоуважения и социальной идентичности, которую не может дать семья.

Заключение

С одной стороны, виртуальная среда, в которую бежит ребенок, выполняет компенсаторную и протективную функцию. Она становится убежищем от травмирующей реальности, источником эмоциональной разрядки и способом психологической самозащиты. В цифровом пространстве ребенок может получить недостающее признание, построить социальные связи, развить навыки коммуникации и даже обрести чувство контроля и компетентности, недоступное ему в дисфункциональной семье. Таким образом, «цифровой побег» выступает как адаптивный механизм, позволяющий минимизировать непосредственный вред от стрессовой семейной обстановки и частично удовлетворить базовые социально-психологические потребности.

С другой стороны, эта стратегия несет в себе серьезные риски для долгосрочного и гармоничного социального развития. Уход в виртуальную реальность закрепляет дезадаптивные модели поведения, препятствуя формированию навыков решения реальных конфликтов и построения доверительных отношений «лицом к лицу». Происходит подмена глубинного социального опыта его симулякрами, что ведет к социальной изоляции, эмоциональной обедненности и дефициту эмпатии. Риск кибербуллинга, деструктивного контента и зависимости усугубляет уязвимость ребенка, создавая «ловушку», где временное облегчение оборачивается усилением проблем в офлайн-жизни.

Таким образом, влияние «цифрового побега» носит парадоксальный характер: в краткосрочной перспективе он может быть спасительным, но в долгосрочной – тормозить социализацию, углубляя разрыв между виртуальной компетентностью и реальной социальной беспомощностью. Задача родителей, педагогов и социальных работников заключается не в демонизации интернета и запрете «побега», а в распознавании его как симптома семейного неблагополучия. Ключевой вектор помощи должен быть направлен на устранение коренных причин – улучшение семейного климата, оказание психологической поддержки ребенку и семье, – параллельно развивая его цифровую грамотность и помогая выстраивать здоровый баланс между онлайн- и офлайн-мирами. Только комплексный подход, учитывающий как ри-

ски, так и компенсаторный потенциал цифровой среды, может смягчить ее негативное влияние и способствовать полноценному социальному развитию ребенка.

Список литературы

1. Норбошева, М. О. Роль семьи и дошкольной образовательной организации в формировании личности ребенка / М. О. Норбошева. – Текст : электронный // CYBERLENINKA: научная электронная библиотека. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rol-semi-i-doshkolnoy-obrazovatelnoy-organizatsii-v-formirovanii-lichnosti-rebyonka/viewer (дата обращения: 11.01.2026).

2. Муртазина, Г. Ф. Психологические особенности лиц с хроническим алкоголизмом / Г. Ф. Муртазина. – Текст: непосредственный // Вестник Башкирского педагогического университета им. М. Акмуллы. – 2023. – № 4. – С. 41-44.

3. Зауторова, Э. В. Отношение к семье у осужденных, имеющих алкогольную зависимость / Э. В. Зауторова – Текст: непосредственный // Пенитенциарная наука. – 2024. – №2 (66). – С. 204-209.

4. Югова, О. В. Влияние социально-психологических факторов и семейной среды на психическое развитие ребенка / О. В. Югова. – Текст: непосредственный // Специальное образование. – 2021. – №1. – С. 127-139.

5. Крайнов, А. Л. Цифровая идентичность как условие бытия человека в цифровом обществе. – Текст: непосредственный / А. Л. Крайнов // Известия Саратовского университета. – 2024. – №2. – С. 131-141.

УДК 378.4

ОБЩЕЕ И ОСОБЕННОЕ В ПРАВОВОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нуриахметова Ф.М., к.филос.н., доцент кафедры истории и педагогики ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;
ORCID: 0000-0003-3579-2442;
Холоднов В.Г., к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой государственно-правовых дисциплин АНО ВО «Академия социального образования», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-4663-0430

GENERAL AND SPECIFIC FEATURES IN THE LEGAL REGULATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL SPACE OF THE EUROPEAN UNION AND THE RUSSIAN FEDERATION

Nuriakhmetova F.M., PhD in Philosophy, Associate Professor of the Department of History and Pedagogy, Kazan State Power Engineering University;
ORCID: 0000-003-3579-2442;
Kholodnov V.G., PhD in Law, Associate Professor, Head of the Department of State and Legal Disciplines, Academy of Social Education, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-4663-0430

Аннотация

В статье дается сравнительно-правовой анализ новых нормативных актов Европейского Союза (далее – ЕС) и Российской Федерации в области правового регулирования искусственного интеллекта (далее – ИИ) в образовательном пространстве. Авторы отмечают, что

правовые и нравственные регуляторы искусственного интеллекта являются непременным условием современного образовательного и научно-исследовательского процесса в учебных заведениях России и ЕС, имеют общие исторические корни и в тоже время особенности, отражающие современные реалии западноевропейских стран. Принятые правовые акты призваны ограничить риски и угрозы нравственного и правового характера, связанные с нарушением действующего законодательства при использовании ИИ, защитить профессиональную и деловую репутацию пользователей в научном и образовательном пространстве.

Ключевые слова: законодательная база ИИ, реализация права в использовании ИИ, правовые коллизии, угрозы и риски масштабного внедрения ИИ образовательное пространство

Abstract

This article provides a comparative legal analysis of new normative acts of the European Union (EU) and the Russian Federation in the field of legal regulation of artificial intelligence (AI) in the educational space. The authors note that legal and ethical regulations governing artificial intelligence are essential for the modern educational and research process in educational institutions of Russia and the EU, sharing common historical roots and at the same time specific features reflecting the contemporary realities of Western European countries. The adopted legal acts are intended to limit risks and threats of a moral and legal nature associated with violations of current legislation in the use of AI, and to protect the professional and business reputation of users in the scientific and educational spaces.

Keywords: AI legislative framework, implementation of law in the use of AI, legal conflicts, threats and risks of large-scale implementation of AI in the educational space

Западноевропейская система образования исторически была близка российскому образованию с петровских времен. Впоследствии на рубеже XIX-XX вв. в России неоднократно проводились реформы образования правящими элитами, которые не отрицали европейских достижений в науке и технике. В советской период они получили дальнейшее развитие, что позволило стране одержать победу над фашизмом и стать ведущей державой мира. Позже, уже в современной Российской Федерации активно внедрялись западные образовательные стандарты так называемой Болонской системы, которые и сегодня, несмотря на обоснованную критику, остаются приоритетными в условиях интернационализации образования на пространстве ЕАЭС и БРИКС.

В этом отношении наука и образование в странах Европейского Союза по-прежнему остается привлекательными для российских исследователей, хотя и осложнено санкционными ограничениями и политически мотивированным предвзятым отношением к динамично развивающейся цифровизации отечественного образования.

Становление законодательной базы ИИ

Образовательное пространство западных стран имеет относительно схожие стандарты с российскими, но методологические подходы к внедрению искусственного интеллекта разнятся. Правовые коллизии в законодательстве западных стран в отношении ИИ неизбежны в силу различий прецедентной (англосаксонской) и континентальной (романо-германской) систем права.

Философские категории виртуального представления генеративного интеллекта изначально приобрели правовые и нравственные очертания в пределах научного сообщества, отстаивающего авторские права индивида. Впоследствии международные нормы, регулирующие использование ИИ, складываются уже в рамках Европейского Союза. Именно поэтому отечественная методология разработки и внедрения ИИ в образовательный процесс изучает сравнительно-правовые аспекты формирования правового поля, обращая особое внимание на новеллы европейского права, в которых в качестве объекта выступает ИИ. Поскольку эти

нормы отражают субъективный подход, определяемый иностранным разработчиком, то они находятся вне пределов российских традиционных ценностей [1, с. 2-3].

Европейский Союз и правовая практика использования ИИ

В Европейском Союзе в ответ на все более широкое внедрение искусственного интеллекта в Северной Америке и Китае расширяется правовое поле специальных нормативных актов, в том числе ведомственных, где прописаны юридические принципы решения правовых коллизий с авторским правом. Эти ключевые меры призваны способствовать ответственному подходу к разработке, распространению и использованию ИИ в Европе в различных сферах человеческой деятельности.

Основным законодательным актом и главным источником правового регулирования искусственного интеллекта в Европейском союзе, является «*Закон об искусственном интеллекте*» (Artificial Intelligence Act, AIA), который вступил в силу в августе 2024 г. и уже используется в правоприменительной практике [2]. AIA налагает юридические обязательства на операторов в соответствии с установленными протоколами использования ИИ, тем самым обеспечивая кибербезопасность и неуязвимость от стороннего вмешательства.

Европейский «Закон об искусственном интеллекте» распространяется на провайдеров и пользователей ИИ на территории ЕС. Кроме того, этот нормативный акт действует и за пределами Европейского Союза, когда используются локации систем ИИ на его территории прокси-пользователями из других стран. При этом несанкционированные попытки обойти ограничения с помощью прокси- трафика третьих стран недопустимы и подлежат блокировке. Как и в случае с законодательством США и Канады, положения о конфиденциальности «больших данных» (Big Data) прописаны аналогично. Это означает, что AIA может распространяться на американские и канадские компании, ведущие деятельность или имеющие бизнес-партнеров на Европейском экономическом пространстве.

Примечательно, что AIA запрещает использование систем искусственного интеллекта, которые представляют «неприемлемый риск», включая, например, социальный скоринг, биометрическую идентификацию и обработку персональных данных в интересах частных лиц, а также создание интеллектуальных систем для манипулирования поведением молодежных групп через соцсети. Европейский закон (AIA) акцентирует внимание на кибербезопасности широкого внедрения интеллектуальных цифровых платформ с открытым доступом (например, промышленных маркетплейсов). Для предотвращения угроз цифрового мошенничества ведется мониторинг использования систем искусственного интеллекта в «серых зонах» Даркнета (Dark Net), где осуществляется нелегальная торговля запрещенными товарами, потребителями которых нередко становятся криминальные элементы, проживающие в западноевропейских странах.

В октябре 2021 г. Европейский парламент принял резолюцию, в которой предусматривается гражданско-правовая, а в отдельных случаях и уголовная ответственность пользователей искусственного интеллекта, если в судебном порядке будет установлен ущерб юридическим лицам, а также жизни и здоровью граждан [3]. В последние годы в ЕС наметилась тенденция к систематизации ведомственных подзаконных нормативных актов (с элементами кодификации), которую планируется завершить к 2030 г. [4].

В мае 2024 г. Совет Европы принял «*Рамочную конвенцию об искусственном интеллекте*» (Framework Convention on Artificial Intelligence, FCAI), ставшую одним из первых международно-правовых актов, объектом регулирования которой является искусственный интеллект [5]. Европейская конвенция устанавливает допустимые пределы использования искусственного интеллекта, которые распространяются на органы власти (региональные и муниципальные) и частные компании, государственные и частные образовательные организации. Особое внимание уделено исследовательским университетам, где широкое внедрение и использование искусственного интеллекта может препятствовать соблюдению авторских прав, функционированию демократических институтов, открывая возможности для тенденциозного влияния на общественное сознание наиболее продвинутой части западного научного сообщества.

Европейская конвенция носит рекомендательный характер и с точки зрения национального законодательства отдельных стран ЕС она не содержит положений, обязывающих провайдеров этих стран раскрывать информацию об использовании искусственного интеллекта в интересах национальной безопасности суверенных государств-членов ЕС. Кроме того, в рамочной конвенции отсутствуют правовые механизмы судебного разбирательства в случае конфликта интересов сторон или нарушения авторских прав участников правоотношений, связанных с использованием искусственного интеллекта.

В Европейском образовательном пространстве техническая подготовка специалистов разных уровней от прикладного до стратегического занимает особое место, при этом прогнозируется ежегодный рост на 8,8% в период с 2025 по 2030 гг. [6]. Образовательный менеджмент рассматривает внедрение искусственного интеллекта в учебный процесс как необходимый ресурс дальнейшего развития инновационного потенциала западных стран. Следует отметить, что этот показатель весьма условный и не отражает реальную статистику, свидетельствующую насколько ИИ действительно интегрирован в образовательные программы ведущих западноевропейских университетов. По мере того, искусственный интеллект все больше внедряется в промышленные процессы и НИОКР западных стран, поэтому потребность в кадровом обеспечении, обладающем необходимыми компетенциями, повышается. Европейские образовательные учреждения ведут интенсивный набор талантливой молодежи, увеличивая долю иностранных студентов.

По данным Всемирного экономического форума (2025), спрос на технологические навыки использования генеративного интеллекта растет в инновационных отраслях промышленности быстрее, чем в любой другой сфере, например, гуманитарной. Ожидается, что в течение следующих пяти лет в мире появится от 97 до 170 миллионов вакансий, требующих навыков, связанных с искусственным интеллектом [6].

Действующие в настоящее время в Европейском Союзе нормативно-правовые акты предусматривают правовую защиту пользователей цифровых платформ, в том числе образовательных и научно-исследовательских, от необоснованных претензий, затрагивающих деловую и профессиональную репутацию разработчиков и пользователей ИИ. В Европейской комиссии на основании принятых нормативных актов правовое регулирование искусственного интеллекта в образовательном пространстве рассматривается как безусловный приоритет реализации западных ценностей и национальных интересов в глобализации образования.

Правовая практика использования ИИ в России

В Российской Федерации правовая база, связанная с искусственным интеллектом, продолжает формироваться на основе сравнительно-правового анализа законодательства как западных стран, так и Китая, где существуют правовые новеллы, в которых многие аспекты внедрения и регулирования искусственного интеллекта в академической деятельности достаточно конкретно прописаны и позволяют осуществлять административный надзор над его использованием в рамках текущего законодательства. Методологический посыл основан на том, что положение о надзоре за правомерным использованием ИИ (а в недалекой перспективе прокурорского надзора) является важным фактором правового регулирования.

По мнению профессорско-преподавательского состава российских вузов, уже возникают опасения из-за излишне активного внедрения искусственного интеллекта в образовательных учреждениях, которое может привести к ограничению интеллектуального развития студенчества, чревато утратой критического мышления, ухудшением памяти и внимания. Студенты не стремятся думать самостоятельно, в результате пропадает креативная мотивация и образовательный процесс рискует превратиться в компилирование чужих алгоритмов и шаблонных знаний. Эти риски, связанные с пагубным влиянием ИИ на творческую деятельность, могут привести к размыванию границы между оригинальным и искусственным, подлинным и суррогатным знанием, что вызывает обоснованную обеспокоенность, прежде всего, научных руководителей проектных исследований.

В отдельных исследовательских университетах страны уже приняты ведомственные нормативные акты, определяющие границы использования ИИ в этих вузах. Однако потребуется принятие новых ГОСТов и обновление Основных образовательных программ высшего образования (ООП ВО), над которыми в данный момент работает Минобрнауки РФ. Именно поэтому Указом Президента Российской Федерации В.В. Путиным была утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта до 2030 года [7]. Целью этого нормативного акта является подготовка специалистов и дальнейшее развитие ИИ-навыков. Кроме того, с 1 января 2026 г. вступили в силу несколько ГОСТов о технологиях ИИ в образовании:

– ГОСТ Р 72391-2025 для обучающихся по программам магистратуры в вузах устанавливает правила для искусственного интеллекта: анализ оценок, прогноз успеваемости;

– ГОСТ Р 72392-2025 определяет стандарты для искусственного интеллекта по отбору кандидатов в магистратуру;

– ГОСТ Р 72394-2025 задает критерии для отбора кандидатов в аспирантуру;

– ГОСТ Р 72393-2025 описывает, как искусственный интеллект должен определять вовлеченность студентов во время онлайн-обучения [8].

Главная задача этих стандартов – определить пределы компетенций обучаемых при использовании ИИ в качестве инструмента, позволяющего дифференцировать авторскую компоненту от уже существующей базы знаний. Сегодня правовое регулирование использования ИИ в образовании не носит императивный характер – оно выстраивается через государственные стандарты и ведомственные требования, не ограничивая инициативу пользователей и разработчиков. В будущем эти концепты войдут в единое правовое поле регулирования ИИ для российских учебных заведений. Федеральное собрание РФ (Парламент России) в профильных комитетах уже рассматривает различные варианты законопроектов Федерального закона, который определит базовые принципы правового регулирования ИИ.

Пока государство формирует нормативную базу, образовательные учреждения в России создают локальные правила, которые не всегда коррелируют с административным законодательством (КоАП) [9]. Декларативный характер носит положение о принципах использования искусственного интеллекта, разработанное администрацией Инновационного центра «Сколково» [10]. В научно-исследовательском университете Высшей школы экономики (НИУ ВШЭ) студенты обязаны определить через систему антиплагиат долю самостоятельной работы при использовании нейросетей.

Мотивация научного поиска исследователей нередко задается алгоритмами чат-бота, что вызывает когнитивный диссонанс взаимодействия биофизических нейросетей сознания человека с нейросетями генеративного ИИ. К таким выводам пришли участники сессии «Искусственный интеллект в образовании: социально-правовые проблемы» на XIV Петербургском международном юридическом форуме [11].

Очевидно, что исследования искусственного интеллекта будут носить практико-ориентированный характер, но и фундаментальные научные разработки будут также использовать его в качестве инструментария. Здесь не обойтись без государственной стратегии, направленной на ускорение внедрения ИИ в производственные технологические процессы, что предопределяет целевое финансирование проектов для достижения практических результатов. В связи с этим особую актуальность приобретает не только сохранение технологического, но и государственного суверенитета в условиях противоборства западных и отечественных информационных систем, управляемых глобальным ИИ. Международно-правовое регулирование ИИ, возможности которого при использовании квантовых технологий несоизмеримо возрастут, должно носить общеобязательный характер, поскольку в глобальном измерении может представлять экзистенциальные риски.

Уровни регулирования в сфере ИИ следует подразделить на социальный (этический и правовой) и на международно-правовой. Первый уровень рассматривается как особенная часть общей системы международной безопасности. Второй уровень – это международно-пра-

вовой контекст использования искусственного интеллекта в военных целях, что коренным образом меняет представления об оружии массового поражения. Современное использование технологий ИИ беспилотными летательными аппаратами, деструктивное воздействие на цифровую экономику через спутниковые системы связи не исключает спонтанных сбоев, например, под влиянием неординарных солнечных аномалий. Со всей очевидностью это потребует превентивных систем нейтрализации угроз, исходящих от глобального искусственного интеллекта. Искусственный разум, используя мощные центры обработки данных (ЦОД) способен дезавуировать суверенитет как отдельного государства, так и блока стран, где лидирующую позицию займут властные элиты, обладающие доминирующим ИИ, контролирующие цифровые финансовые потоки и системы управления вооружениями, интегрированными в космическое пространство.

Заключение

Значимость ИИ для человечества вызывает необходимость пересмотра системы международной безопасности. Это отражается в деятельности представителей научной общественности России не только в международных неправительственных организациях, но и в межгосударственных организациях и объединениях, таких как ЮНЕСКО, БРИКС, АСЕАН и т.д.

Правовое регулирование в сфере ИИ пока находится на декларативном уровне, однако по существу речь должна идти о нормативно-правовом регулировании ИИ с точки зрения международно-правовой субъектности и не ограничиваться частноправовыми коллизиями в авторском праве. Источниковая база ИИ пока находится в стадии формирования. В то же время работа над созданием международного права ИИ уже ведется, о чем свидетельствует нарастающий дискурс о его перспективах на международных научных конференциях и форумах, посвященных этой проблематике. В принятых документах объем прав и обязанностей пользователей ИИ прописывается достаточно фрагментарно, тем не менее, тенденция к созданию юридически обязывающих норм все более актуализируется.

В условиях продолжающегося одностороннего санкционного противостояния с западными странами формат правового регулирования ИИ расширяется в рамках Союзного государства России и Белоруссии, а в перспективе станет предметом рассмотрения и в странах ЕАЭС. Интеграционные процессы региональной цифровой экономики Евразии предполагают гармонизацию национального законодательства для использования ИИ в этих странах, в том числе и в сфере науки и образования.

Список литературы

1. Нуриахметова, Ф. М. Искусственный интеллект и нейросети: этические и социальные риски / Ф. М. Нуриахметова // Международная научно-практическая конференция «Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования», 19-20 марта 2026 года, Казань. – С. 3243-3247.

2. Artificial Intelligence Act (AI Act). Shaping Europe's Digital Future. European Commission. URL: www.digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies /regulatory-framework-ai (дата обращения: 15.05.2026). – Текст: электронный.

3. Artificial Intelligence in Criminal Law and its Use by the Police and Judicial Authorities in Criminal Matters / Official Journal of the European Union. 2021.URL:www.eur-lex.europa.eu/legal-ontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021 IP0405 (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.

4. 2030 Digital Compass: The European Way for the Digital Decade. European Commission. 2021. URL: www.eur-lex.europa.eu/legal-content /EN/TXT/?uri=celex:52021DC0118%2801%29 (дата обращения: 10.05.2026). – Текст: электронный.

5. Framework Convention on Artificial Intelligence. Council of Europe. March, 2025. URL: www.clarke.house.gov/clarke-introduces-bill-to-regulate-ais-control-over-critical-decision-making-in-housing-employment-education-and-more/ (дата обращения: 14.06.2026). – Текст: электронный.

6. Cassandra S. Delia. European Insights: Adoption of AI in TVET Institutions – Challenges, Opportunities and Recommendations: Atlas of Emerging Trends in New Qualifications and Competencies in NVET. 2025. URL: www.atlas.unevoc.unesco.org/research-briefs/european-insights-adoption-of-ai-in-tvet-institutions-challenges-opportunities-and-recommendations (дата обращения: 17.06.2026). – Текст: электронный.

7. Указ президента Российской Федерации «О развитии искусственного интеллекта Российской Федерации». Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, 10 октября 2019 г. № 490. URL: http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/AH4x6HgKWANwVtMOfPD hcbRpvd1HCCsv.pdf (дата обращения: 25.05.2026). – Текст: электронный.

8. Каталог национальных стандартов. Росстандарт-Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. URL: https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/catalognational (дата обращения: 27.06.2026). – Текст: электронный.

9. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 04.07.2026) (с изм. и доп., вступ. в силу с 07.07.2026). – URL: https://www.consultant.ru/document /cons_doc_LAW_34661/ (дата обращения: 05.07.2026). – Текст: электронный.

10. Сколково. Официальный сайт. https://sk.ru/ (дата обращения: 08.07.2026). – Текст: электронный.

11. XIV Петербургский международный юридический форум. РОСКОНГРЕСС, 24 июня 2026 г. – URL: https://roscongress.ru/sessions/splf-2026-delovaya-programma-ostanetsya-li-mesto-estestvennomu-intellektu-v-yuridicheskoy-nauke-i-obrazovanii/discussion/ (дата обращения: 12.07.2026). – Текст: электронный.

УДК 101.1:004.8

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ФИЛОСОФИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Нурмухаметова В.В., к.филос.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-6518-1012;
E-mail: nurmuhametova@chl.ieml.ru;
Хайрутдинова Э.М., студент Казанского инновационного университета имени В.Г. Тимирясова (ИЭУП), г. Казань, Россия;
E-mail: khajrutdinovaem@ieml.ru

SOME ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN PHILOSOPHY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Nurmukhametova V.V., Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-6518-1012;
E-mail: nurmuhametova@chl.ieml.ru;
Khairutdinova E.M., student Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov (IEML), Kazan, Russia;
E-mail: khajrutdinovaem@ieml.ru

Аннотация

В статье представлен анализ зарождения, становления и этапов развития отечественной философии искусственного интеллекта. Описан теоретико-методологический подход к иссле-

дованию искусственного интеллекта, применяемый российской философией искусственного интеллекта. Определено предметное поле и ключевые проблемы отечественной философии искусственного интеллекта. Рассмотрены современные тренды развития отрасли: исследование нейросетей и доверенного искусственного интеллекта. Выявлено, что философия искусственного интеллекта – стремительно развивающаяся отрасль современной российской философии, исследующая проблемы искусственного интеллекта и естественного интеллекта, сформировавшаяся на базе отечественной нейрофилософии и эпистемологии, выработавшая характерный для российской науки междисциплинарный подход к исследованию проблем искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, естественный интеллект, доверенный искусственный интеллект, нейросети, философия искусственного интеллекта, междисциплинарный подход

Abstract

The article presents an analysis of the emergence, development, and stages of the evolution of Russian philosophy of artificial intelligence. It describes the theoretical and methodological approach to the study of artificial intelligence used by Russian philosophy of artificial intelligence. The subject field and key problems of Russian philosophy of artificial intelligence are identified. Current trends in the development of the field are examined: the study of neural networks and trusted artificial intelligence. It has been established that the philosophy of artificial intelligence is a rapidly developing branch of modern Russian philosophy that explores the problems of artificial intelligence and natural intelligence, having emerged on the basis of Russian neurophilosophy and epistemology and having developed an interdisciplinary approach to the study of artificial intelligence problems, characteristic of Russian science. interdisciplinary approach.

Keywords: artificial intelligence, natural intelligence, trusted artificial intelligence, neural networks, philosophy of artificial intelligence, interdisciplinary approach

Тематика, связанная с исследованием различных аспектов искусственного интеллекта (далее – ИИ), сегодня является одной из актуальных в отечественной научной повестке. В настоящее время ИИ является объектом исследований не только технологической и естественнонаучной сфер, но и социально-гуманитарных наук, в которых подвергаются анализу социально-культурные и антропологические аспекты внедрения ИИ. В философии, стремящейся к осмыслению социального и человеческого бытия, в которое в настоящее время активно встраивается ИИ, возникает философия ИИ как попытка «осмысления проблем, связанных в восприятии людей с информационными технологиями, происходит и в философии, где сложилось интегральная научная отрасль – философия искусственного интеллекта» [1].

Следует отметить, что отечественная философия ИИ – сравнительно молодая область философии на фоне мировых трендов её развития. Развитие российской философии ИИ можно условно разделить на два ключевых этапа.

Первый этап связан с открытием доступа к западным исследованиям по тематике ИИ и осмыслением зарубежных идей и концепций, начиная с 1940-х годов: теста А. Тьюринга, теста Дж. Сёрла, положения Дж. Маккарти, философских зомби Д. Чалмерса, проблемы квалиа и др. Как отмечалось, «философия ИИ была вынужденно представлена в формате концептуальных заимствований зарубежных исследователей в этой области» [2, С. 99].

Начало второго этапа приходится на 2004-05 годы, ознаменовавшись проведением первых отечественных конференций по проблемам философии ИИ. Так, по завершении анализа идей западной философии ИИ «началось формирование области философии ИИ как специфической сферы междисциплинарных исследований по идентификации, систематизации, координации, специализации и интеграции методов построения и использования ИИ» [2, с. 100]. В рамках второго этапа сформировалась специфическая отечественная модель фи-

лософии ИИ, основанная на междисциплинарном подходе. Философия ИИ – «философия, которая проявляет смысл и значение проектов ИИ в контексте междисциплинарных исследований ИИ философского уровня, теоретической общности и методологической компетентности» [2, с. 115].

Важной вехой развития современной российской философии является определение предметной области философии ИИ. Трудность такого определения обеспечивается необходимостью вычленения предмета исследования философии ИИ и отграничения от других философских областей. Отмечается, что философия ИИ близка к эпистемологии и философии разума, «в рамках которых предполагается осмысливать и философские аспекты ИИ, которые концентрируются вокруг вопросов о характере и природе его «разумности» и «субъектности», о его сравнении с человеческим разумом, о возможностях достичь уровня интеллекта человека или даже превзойти его» [3, с. 139-140]. В этом же ключе рассуждают и другие исследователи: философский интерес к проблематике ИИ имеет «своим истоком мысль о сходстве искусственного разума и человеческого интеллекта» [Беликова], а философия искусственного интеллекта представляет собой «направление в философии, отвечающее на вопрос о том, что такое небиологический интеллект и возможен ли он. Иными словами, это – философско-методологическая база для изучения небиологического интеллекта» [4, с. 71]. Также важным представляется отграничение предмета философии ИИ от предмета нейрофилософии, чей 50-летний юбилей недавно отметили, поскольку вторая в отличие от первой «конвенциональное обозначение стратегического направления философской науки, концентрированно характеризующего современные натуралистические интерпретации одного из «основных вопросов философии», тысячелетиями обсуждавшегося при решении проблемы взаимоотношений идеи/материи, духа/тела, психики/мозга» [5, с. 50]. Таким образом, исследовательское поле современной российской философии ИИ сосредоточено на осмыслении и сопоставлении естественного интеллекта и искусственного интеллекта [6, 7].

С учетом определения предметной области философии ИИ и применения базового методологического принципа междисциплинарности к её исследованию стало возможным сфокусироваться на важнейших вопросах и проблемах отрасли. Пожалуй, главная фундаментальная проблема философии ИИ в отечественной исследовательской оптике заключается в поиске соотношения категорий в цепочке «сознание – мозг – искусственный интеллект». Из поставленной проблемы проистекает целый пул различных вопросов: эпистемологические проблемы моделирования ИИ, компьютерное моделирование человеческого разума, а также моделирование различных когнитивных, психических и социальных феноменов, проекты искусственного мозга, эстетические, этические и правовые проблемы ИИ, вопросы человеческой субъективности, цифровой социализации, цифровой идентичности, проблема слабого и сильного ИИ, функционалистская концепция мышления, вопросы ответственности за работу ИИ, коммуникативные вопросы в эпоху цифровизации, электронная культура, киберфизическая реальность, роботизация, практическое приложение теоретических исследований ИИ, социогуманитарные проблемы ИИ и многие другие [1, 2, 4, 6, 7]. «Возможно ли вообще создать интеллект?», «Может ли машина мыслить?», «Является ли человеческий интеллект компьютером?», «Почему слабый ИИ не становится сильным?», «Кто должен нести ответственность за решения, принятые ИИ?», «Является ли ИИ субъектом?», «Может ли робот выступать субъектом?», «Есть ли права у робота?», «Способен ли ИИ к творческой деятельности?»: эти и многие другие вопросы также лежат в исследовательском поле отечественной философии ИИ.

Важным этапом развития отечественной философии ИИ стало исследование доверенного ИИ: была установлена дефиниция доверия к ИИ – «состояние убежденности пользователя системы ИИ и других заинтересованных лиц (например, государственных регуляторов в соответствующих прикладных отраслях; разработчиков систем ИИ; страховых компаний) в том, что система может быть использована для решения конкретной прикладной задачи ИИ в заданных (предусмотренных) условиях эксплуатации» [2, с. 115].

В связи со стремительным развитием генеративного ИИ возникла необходимость своевременного философского осмысления развивающейся технологии. Исследователи отмечают, что фиксация появления нейросетей позволила сделать акцент на понимании возможности построения сильного ИИ, на взрывном характере развития новых технологий, на появлении новых вопросов, требующих философской рефлексии [3, с. 140].

Именно беспрецедентная стремительность изменений, вызванных внедрением генеративного ИИ, привела к существенным трансформациям на индивидуальном и социальном уровнях бытия.

ИИ меняет человека. Нейросети прямо сейчас сознают совершенно новую среду человеческого существования. Важнейший функционал человеческого разума, включающий уникальную способность принимать решение на основе множественных факторов, вдруг оказался под силу алгоритмам. Исследователи подмечают следующий парадокс: если нейросети способны на основе больших данных выявлять, например, кредитные или управленческие риски, готовить аналитические справки в области демографии, политики, образования, помогать в образовательной и профессиональной сфере, то можно ли говорить о передаче права принятия решений машинному алгоритму? Следует ли поднимать тогда вопросы о свободе и ответственности человека или ИИ? Может ли человек потерять в доверии ИИ свою субъектность, переложить ответственность за принятие решений нейросети? Кто понесёт ответственность за неверное решение? Каковы этические аспекты принятия таких решений? Как видно, рисков множество. Но тем не менее, современная российская философия ИИ, базирующаяся на междисциплинарном подходе, оставляет последнее решение за человеком: ИИ не обладает сознание, самосознанием, рефлексией, способностью к моральному выбору, он лишь набор алгоритмов [8].

ИИ меняет общество. Политика, медицина, образование, экономика, культура и другие важнейшие сферы современного общества всё чаще строятся на технологии ИИ. Повсеместное внедрение ИИ во все сферы жизни человечества в последние годы, цифровизация практически всех социальных практик – еще один аспект исследования современной отечественной философии ИИ. Актуализируются вопросы этические и правовые аспекты философии ИИ, нужны конкретные практические алгоритмы взаимодействия человека и общества с ИИ. И здесь снова российская философия ИИ подчёркивает: человек – ключевой субъект социальной жизни, ИИ – его технический помощник, который не способен в полной мере заменить человека. Большое значение здесь отводится системе воспитания и образования: для детей и молодёжи, как наиболее продвинутым, но при этом чаще всего бездумным пользователям нейросетей, необходимы понятные объяснения всех рисков их использования, развитие критического мышления, разъяснения о галлюцинациях нейросетей и их фантазиях. Философия образования здесь призвана органично и оперативно встроить в современные воспитательные и образовательные практики уроки и курсы по цифровой грамотности и цифровой этике.

Таким образом, отечественная философия ИИ, возникшая сравнительно недавно и достаточно стремительно прошедшая путь своего становления, несмотря на признание исследователей, что философское осмысление технологических взрывов происходит недостаточно быстро, смогла сформировать предметное поле, исследовательскую оптику и особый междисциплинарный методологический подход. Краткий обзор актуальных тем, волнующих современную российскую философию ИИ, позволяет сделать вывод о достаточно скорой реакции этой отрасли философии на новые технологические вызовы.

Список литературы

1. Беликова, Е. К. Основные вопросы философии искусственного интеллекта / Е. К. Беликова // Философия и культура. – 2024. – № 1. DOI: 10.7256/2454-0757.2024.1.69543 – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=69543.

2. Алексеев, А. Ю. Философия искусственного интеллекта в России с начала века по настоящее время / А. Ю. Алексеев // Науковедческие исследования. – 2022. – № 1. – С. 96-120. DOI: 10.31249/scis/2022.01.04.

3. Авдонин, В. С. Нейросети нового поколения в контексте технологий искусственного интеллекта, философии и социально-политических наук / В. С. Авдонин, В. Л. Силаева // Политическая наука. – 2023. – № 4. – С. 127–154. DOI: http://www.doi.org/10.31249/poln/2023.04.05.

4. Безлепкин, Е. А. Нейрофилософия, философия нейронаук и философия искусственного интеллекта: проблема различения / Е. А. Безлепкин, А. С. Зайкова // Философские науки. – 2021. – Т. 64 № 1. – С. 71–87. DOI: 10.30727/0235-1188-2021-64-1-71-87.

5. Алексеев, А. Ю. Становление отечественной нейрофилософии / А. Ю. Алексеев, В. Г. Кузнецов, А. В. Савельев, Е. А. Янковская // Философские науки. – 2015. – № 1. – С. 48–66.

6. Бовыкин, В. И. Философия искусственного интеллекта: проблемы терминологии и методологии / В. И. Бовыкин // Философия и культура. ‑ 2012. ‑ № 8. ‑ С. 96-105.

7. Гутенев, М. Ю. Проблема искусственного интеллекта в философии XX века / М. Ю. Гутенев // Вестник Челябинской государственной академии культуры и искусств. – 2012. – № 4 (32). – С. 77-80.

8. Плотников, В. В. Философия искусственного интеллекта и границы ответственности человека и алгоритма / В. В. Плотников, М. С. Косников // Философия науки. – 2026. – № 1. – С. 115-131. DOI: 10.15372/PS20260107.

УДК 316.74

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ: АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РОССИЙСКИХ ПРАКТИК

Панасова А.А., старший научный сотрудник ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-2143-4446

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HIGHER EDUCATION: AN ANALYSIS OF FOREIGN RESEARCH AND RUSSIAN PRACTICES

Panasova A.A., Senior Researcher at the Center for Advanced Economic Research, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-2143-4446

Аннотация

Статья посвящена исследованию трансформации образовательных практик студентов высших учебных заведений под влиянием искусственного интеллекта. Актуальность исследования обусловлена активным распространением технологий искусственного интеллекта в университетской среде, изменением характера учебной и исследовательской деятельности студентов, а также формированием новых подходов к организации образовательного процесса, академической честности и развитию цифровых компетенций. Методологическую основу составили методы анализа научной литературы, сравнительного анализа и вторичного анализа данных. В работе проведен обзор современных зарубежных исследований, посвященных внедрению искусственного интеллекта в высшее образование, раскрывающее его влияние на персонализацию обучения, трансформацию роли преподавателя, изменению академической культуры, а также вторичный анализ российских исследований, изучающих использованию искусственного интеллекта студентами, их отношению, вопросам академической честности.

Дополнительно были проанализированы практики внедрения технологий искусственного интеллекта в ведущих российских университетах.

Результаты исследования показывают, что как зарубежный, так и российский опыт свидетельствуют о переходе университетов от локального и экспериментального применения искусственного интеллекта к его системной интеграции в образовательную среду. Установлено, что искусственный интеллект становится важным фактором изменения образовательных практик студентов, расширяя возможности поиска и анализа информации, подготовки учебных и исследовательских материалов, а также построения индивидуальных образовательных программ. Вместе с тем его широкое применение распространяется пересмотром роли преподавателя, развитием цифровых компетенций и необходимостью совершенствования механизмов регулирования использования искусственного интеллекта в высшем образовании.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровое образование, студенты, академическая культура, цифровизация образования, образовательные практики

Abstract

This article examines the transformation of students' educational practices in higher education institutions under the influence of artificial intelligence. The relevance of the study is driven by the active spread of artificial intelligence technologies in the university environment, the changing nature of students' learning and research activities, as well as the formation of new approaches to the organiziation of the educational process, academic integrity, and the development of digital competencies. The methodological basis was formed by methods of cientific literature, comparative analysis, and secondary data analysis. The paper provides a review of contemporary foreign research evoted to the introduction of artificial intelligence in higher education, revealing its impact on the personalization of learning, the transformation of the role of teachers, and changes in academic culture. It also includes a secondary analysis of Russian studies examining the use of artificial intelligence by students, their attitudes toward it, and issues of academic integrity. Additionally, the implementation of artificial intelligence technologies at the leading Russian universities is analyzed.

The results of the study show that both foreign and Russian experience indicate a shift in universities from local and experimental application of artificial intelligence to its systemic integration into the educational environment. It has been established that artificial intelligence is becoming a significant factor in changing students' educational practices, expanding opportunities for searching and analyzing information, preparing educational and research materials, as well as building individualized educational programs. At the same time, its widespread application is accompanied by a revision of the teacher's role, the development of digital competencies, and the need to improve mechanisms for regulating the use of artificial intelligence in higher education.

Keywords: artificial intelligence, digital education, students, academic culture

Введение

В современном цифровом мире развитие технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ) стало одним из наиболее значимых факторов трансформации образования. Появление генеративных моделей, создание, редактирование текста, изображений, анализа материалов, существенно изменяет способ получения и обработки знаний студентами. Искусственный интеллект активно внедряется не только в повседневные практики использования студентами и преподавателями, но и входит в образовательные программы высших учебных заведений для подготовки в сфере его разработки. Так, например, на 2024 г. 104 вуза России уже имели программу подготовки в сфере разработки ИИ [1]. Основная цель обучения и взаимодействия с ИИ высшими учебными заведения заключается в его правильном использовании для решения задач более быстрым и эффективным способом, поскольку оно становится одним из новых и современных инструментов в повседневной жизни.

Если в период распространения цифровых образовательных платформ основной задачей являлось обеспечение доступа к информации, удобство и совмещение получаемых знаний в разных точка мира, то в настоящий момент новый этап цифровизации характеризуется переходом к интеллектуальной поддержке образовательной деятельности.

Цель исследования заключается в анализе влияния и внедрения искусственного интеллекта на образовательные практики и академическую культуру студентов на основе вторичного анализа данных зарубежных и российских исследований, а также институциональных практик вузов.

Искусственный интеллект как фактор изменения академической культуры и образовательных практик

Современные исследования цифровизации образования рассматривают искусственный интеллект как новый этап развития образовательных технологий. В отличие от традиционных цифровых инструментов, генеративные модели способны не только предоставлять доступ к информации, но и участвовать в ее создании. Если сама цифровизация представляет собой внедрение информационных технологий в каждый отдельный аспект, то искусственный интеллект выступает как инструмент углубленной обработки и анализа информации, способный адаптироваться, обучаться и принимать решения в условиях неопределенности, расширяя возможности информатизации и автоматизации [2].

Если мы говорим об искусственном интеллекте в образовании, то, в первую очередь, это переход от традиционной модели обучения к более персонализированному образовательному процессу. Авторы в своем исследовании рассматривают искусственный интеллект как важнейший фактор цифровой трансформации образования. Отмечается, что использование ИИ в процессе обучения способствует развитию персонализированной программы, автоматизации оценки знаний, повышения эффективности образовательного процесса. При этом исследователи уделяют внимание в необходимости сохранения ведущей роли преподавателя и рассматривают ИИ как инструмент поддержки, а не замещения взаимодействия преподаватель-студент [3].

Академическая культура традиционно рассматривается как совокупность ценностей, норм и моделей поведения, регулирующих образовательную и научную деятельность обучающихся. Появление ИИ ставит под вопрос принципы академической честности, самостоятельной работы и выполнения учебных заданий, ответственности за результаты полученных данных, интеллектуального труда. Если с одной стороны, ИИ предоставляет и расширяет доступ к быстрому поиску и структурированию информации, генерации новых идей, подготовки быстрой аналитической информации. В данном контексте происходит способствование повышению эффективности образовательного процесса. То с другой стороны, создаются новые риски для академической культуры и образовательных практик студентов, которые ставят под вопрос академическую честность, происходит размывание границ между самостоятельным выполнением работ и использованием дополнительной технологической интеллектуальной поддержки.

Зарубежные исследования искусственного интеллекта в высшем образовании

Современные зарубежные исследования свидетельствуют о том, что искусственный интеллект постепенно становится одним из ключевых факторов цифровой трансформации высшего образования. Если раннее изучались технические возможности ИИ и перспективы их использования, то сейчас искусственный интеллект рассматривается значительно шире – как социальный феномен, оказывающий влияние на организацию образовательного процесса, академическую культуру университетов, образовательное поведение студентов и профессиональную деятельность преподавателей [4].

Значительный вклад в изучение применения искусственного интеллекта в высшем образовании внесли Маргарет Берман, Джулиана Райан и Рола Аджави. В своей работе авторы проанализировали не только внедрение и использование исскуственного интеллекта в высшем образовании, но и их влияния на образовательные практики студентов [5]. Проанализировав

29 статей, посвященных ИИ в высшем образовании по методу дискурсивного анализа, авторы пришли к выводу, что существующие исследования концентрируются преимущественно на технологических преимуществах искусственного интеллекта, например, автоматизация учебной деятельности, повышение образовательного процесса. Вместе с тем значительно меньше уделяется внимание вопросам изменения академической культуры, образовательного поведения и взаимодействия участников образовательного процесса. Исследователи подчеркивают, что последствия внедрения ИИ необходимо рассматривать на нескольких уровнях одновременно: институциональном, преподавательском и студенческом, поскольку цифровая трансформация затрагивает и влияет на каждую их этих социальных групп.

Схожую позицию занимают Уэйн Холмс и Илкка Туоми, которые рассматривают искусственный интеллект как фактор изменения системы высшего образования. В процессе трансформации образовательных практик возникают новые вызовы, среди которых авторы выделяют цифровое неравенство доступа к ресурсам, алгоритмическая предвзятость, которая приводит к несправедливым или искаженным данным, недостаточная прозрачность принимаемых решений или дополнительная вымышленная информация. Среди наибольших преобразований исследователи выделяют изменение взаимодействия между преподавателем и студентов, поскольку роль преподавателя постепенно смещается от единственного источника знаний к роли модератора учебной деятельности [6].

Отдельное внимание уделяется анализу отношения студентов и преподавателей к использованию искусственного интеллекта в высших учебных заведениях. Работы Дэвида Баиду-Ану и соавторов, показывают, что большинство обучающихся воспринимают его как полезный инструмент поддержки обучения, но при этом остро встают вопросы со стороны академической честности и достоверности получаемой информации [7]. Несмотря на все преимущества использования ИИ для поиска информации, подготовки учебных материалов и организации самостоятельной работы, студентами отмечаются и риски формирования технологический зависимости, снижения самостоятельности мышления. Как отмечается Адитья Йохри и другими исследователями, широкое распространение использования искусственного интеллекта должно сопровождаться развитием формированием навыков критической оценки результатов работы искусственного интеллекта, проверки источников информации и ответственного использования ИИ в образовательной деятельности [8].

Несмотря на то, что зарубежные исследования демонстрируют становление искусственного интеллекта неотъемлемой частью образовательной среды университетов, внимание исследователей сосредотачивается не только на его технологических преимуществах, но и влиянии на академическую культуру, нормы авторства, честность и образовательное поведение студентов. Таким образом, наблюдается переход не только трансформации образовательных практик в высших учебных заведениях, но и его социальных последствий для системы высшего образования.

Вторичный анализ российских исследований использования искусственного интеллекта в высшем образовании

Исследование изучения отношения студентов российских вузов к использованию ИИ, распространение практик его использование и рисков активно изучалось исследователями И. А. Алешковским, А. Т. Гаспаришвили, Н. П. Нарбут. В своей работе «Российские студенты о возможностях и ограничениях использования искусственного интеллекта в обучении» на основе социологического опроса студентов российских университетов авторы показали, большинство обучающихся положительно воспринимают использование ИИ и считают, что это эффективный инструмент поиска информации, подготовки письменных работ и решения учебных задач. Несмотря на положительные стороны использования ИИ, студентами отмечается и необходимость в разработке единых правил пользования и сохранения академической честности [9]. Схожая проблематика развивается и в работе М. В. Субботиной, посвященной влиянию искусственного интеллекта на развитие современного высшего образования. Автор

рассматривает внедрение ИИ не только как технологическое нововведение, но и как фактор институциональной трансформации университета. По мнению М. В. Субботиной, преподаватель все чаще выступает как наставник образовательного процесса, а студенты получают инструменты для выстраивания более индивидуализированных образовательных траекторий, подготовки проектов и решению исследовательских задач. В это связи особое значение приобретает формирование новой академической культуры, основанной на принципах ответственного и этически оправданного использования искусственного интеллекта.

Рост распространенности ИИ подтверждается и результатами исследований НИУ «Высшая школа экономики» и проекта «Яндекс Образование» [10]. Согласно опубликованным данным, в течение 2024 года увеличилась доля студентов, использующих технологии искусственного интеллекта при обучении: если в начале года процент использования студентами ИИ составлял 43%, то к концу года этот показатель достиг 49% [11]. Наиболее распространенными практиками стали объяснение сложных терминов, поиск научной литературы, подготовка презентаций и написание учебных работ. Полученные результаты свидетельствуют о том, что происходит переход с эпизодического использования ИИ к его регулярному включению в повседневные образовательные практики студентов.

В одном из совместных исследований Российского университета дружбы народов и Московского государственного университета М. В. Ломоносова, изучающим отношение к использованию ИИ в образовании, было выявлено, что большинство студентов воспринимают искусственный интеллект как вспомогательный инструмент обучения, способный повысить эффективность выполнения учебных и исследовательских задач [12]. Вместе с тем исследование показывает, что использование ИИ не приводит к отказу от самостоятельной работы, а трансформирует ее содержание. Возрастает значение критического анализа информации, проверки достоверности полученных данных и способности интегрировать результаты работы генеративного искусственного интеллекта в собственную исследовательскую деятельность.

Таким образом, вторичный анализ российских исследований позволяет отметить несколько устойчивых тенденций. Во-первых, ИИ становится повседневным инструментом при обучении студентов. Во-вторых, наблюдается переход от использования нейросетей для выполнения отдельных задач к их интеграции в исследовательскую или проектную деятельность. В-третьих, внедрение ИИ сопровождается новыми дополнительными правилами в академической культуре, повышением требований к цифровым навыкам обучающихся.

Практики использования генеративного искусственного интеллекта вузами России

Анализ открытых материалов российских университетов показывает постепенный переход от экспериментального использования ИИ к его системной интеграции в образовательный процесс. Происходит комплексное использование ИИ в образовательной, научной и административной деятельности. По таблице 1 можно заметить, что внедрение искусственного интеллекта происходит по нескольким направлениям: разработка и реализация образовательных программ в области ИИ, подготовке учебных материалов, сопровождение исследовательской деятельности и совершенствование системы управления образовательным процессом.

Таблица 1

Практики внедрения искусственного интеллекта в вузах России

Вуз	Практики внедрения ИИ	Основные цели внедрения
Казанский (Приволжский) федеральный университет	Создание Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии; использование ИИ в образовательных и исследовательских проектах; разработках образовательных программ по ИИ	Подготовка специалистов в области ИИ; поддержка научных исследований; развитие цифровых компетенций

Окончание табл. 1

Вуз	Практики внедрения ИИ	Основные цели внедрения
Университет Иннополис	Использование ИИ-ассистентов; обучение работе с большими языковыми моделями; интеграция ИИ в инженерное образование и программирование; разработка образовательных программ с ИИ	Персонализация обучения; автоматизация учебной деятельности; подготовка ИИ-разработчиков
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»	Разработка рекомендаций по использованию GhatGPT; разработка политики академической честности; внедрение ИИ в учебные курсы	Регулирование использования ИИ; развитие ИИ-грамотности; усовершенствование форм оценивания и персонализированного обучения
Университет ИТМО	Использование ИИ при обучении программированию, анализу данных и разработке цифровых продуктов; участие в программе AI360	Подготовка специалистов в области ИИ; развитие проектного обучения и интеграция индустриальных практик
Московский физико-технический институт	Использование ИИ в инженерной подготовке; применение ИИ при анализе данных и моделировании; участие в программе AI360	Подготовка исследователей ИИ; развитие инженерных компетенций
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	Развитие образовательных программ по ИИ; участие в федеральных программах и проектах подготовки ИИ-специалистов	Подготовка кадров для высокотехнологичных отраслей; развитие компетенций в области ИИ
Уральский федеральный университет	Реализация образовательных программ «Топ-ИИ» и «Топ-ИТ» с индустриальными партнерами	Массовая подготовка в области ИИ; сотрудничество с IT-компаниями

Источник: составлено авторам на основе открытых данных.

Анализ практик внедрения искусственного интеллекта в российских вузах позволяет выявить несколько устойчивых тенденций развития в организации использования, внедрения и управлении образовательным процессов.

Во-первых, большинство ведущих вузов переходят от реализации отдельных пилотных проектов к институционализированной интеграции ИИ-технологий. Если ранее внедрение могло ограничиваться пробными исследовательскими проектами, то сейчас все чаще формируются стратегии, регламенты, обеспечивающие постоянное использование ИИ-инструментов в учебной, научной и проектной деятельности. Тем самым, ИИ перестает быть только предметом обучения в профильных программах, переходя в активный технологический инструмент поддержки образовательных практик.

Во-вторых, расширяется круг акторов и сценариев применения. Если изначально применение ИИ рассматривалось у студентов и исследователей IT-специальностей, то сейчас наблюдается применение у преподавателей при подготовке учебных материалов, сотрудников научных подразделений при обработке больших данных, а также служб администрации при цифровой трансформации процессов (мониторинг успеваемости, поддержка дистанционного взаимодействия, адаптивные расписания).

В-третьих, трансформируются цели и задачи внедрения ИИ в учебные и образовательные программы вузов. Помимо классической задачи подготовки специалистов в области ИИ, происходит расширение в сторону формирования у широких групп студентов и работников вузов универсальных цифровых и критических компетенций: умение осмысленно использовать ИИ, оценивать качество получаемой информации и границы применимости выводов, обеспечивать прозрачность и этичность работы с данными.

Это может свидетельствовать о том, что интеграция ИИ в высшем образовании приобретает системный характер, который затрагивает все структуры высших учебных заведений и расширяет круг лиц и задач по его использованию, оказывающий влияние на содержание обучения, организацию образовательного процесса и трансформацию образовательных практик студентов.

Выводы

Таким образом, генеративный ИИ выступает не только технологической инновацией, но и важным социальным фактором изменения академической культуры и образовательных практик студентов. Его распространение и внедрение приводит к изменениям представлений о самостоятельности, авторстве и способах получения знаний и информации. В этих условиях перед высшими учебными заведениями возникает задача формирования новых норм взаимодействия с интеллектуальными технологиями, которые будут обеспечивать баланс между инновациями и сохранением фундаментальных ценностей академического сообщества, при это повышая эффективность образовательного процесса. Происходит новый этап цифровой образовательной трансформации. Если до этого было активное внедрение электронных образовательных ресурсов, онлайн-платформ для обучения из разных точек мира, то современный этап характеризуется интеграцией интеллектуальных систем в процесс обучения.

Важной особенностью становится то, что ИИ постепенно становится не внешним инструментом, а частью образовательной системы вузов. Подобные процессы особенно заметны в университетах России, где реализуются крупные проекты по внедрению ИИ в образовательную и научную деятельность. При этом использование ИИ напрямую зависит от уровня цифровой грамотности студентов и их способности критически оценивать результаты работы алгоритмом.

Список литературы

1. ТАСС. Более 40% российских студентов используют искусственный интеллект в обучении [Электронный ресурс]. – 2024. URL: https://tass.ru/obschestvo/20625745 (дата обращения: 01.07.2026).

2. Галажинский, Э. В. Искусственный интеллект: понятие, характеристики / Э. В. Галажинский, В. В. Касьянов // Гуманитарная информатика. – 2023. – № 18. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-ponyatie-harakteristiki (дата обращения: 01.07.2026).

3. Namatherdhala, B. A Comprehensive Overview of Artificial Intelligence Trends in Education / B. Namatherdhala, N. Mazher, G. K. Sriram // International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. – 2022. – Vol. 4, № 7. – P. 61–67. – URL: https://www.researchgate.net/publication/361912952_A_COMPREHENSIVE_OVERVIEW_OF_ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_TENDS_IN_EDUCATION (дата обращения: 01.07.2026).

4. Yufeia, L. Review of the Application of Artificial Intelligence in Education / L. Yufeia, S. Salehb, H. Jiahuic, S. M. Syed // *International Journal of Innovation, Creativity and Change*. – 2020. – Vol. 12, № 8. – P. 548–562. DOI: 10.53333/IJICC2013/12850.

5. Bearman, M. Discourses of Artificial Intelligence in Higher Education: A Critical Literature Review / M. Bearman, J. Ryan, R. Ajjawi // *Higher Education*. – 2023. – Vol. 86. – P. 369–385. DOI: 10.1007/s10734-022-00937-2.

6. Holmes, W. State of the Art and Practice in AI in Education / W. Holmes, I. Tuomi // *European Journal of Education*. – 2022. – Vol. 57, № 4. – P. 542–570. DOI: 10.1111/ejed.12533.

7. Baidoo-Anu, D. Exploring Student Perspectives on Generative Artificial Intelligence in Higher Education Learning / D. Baidoo-Anu, D. Asamoah, I. Amoako, I. Mahama // *Discover Education*. – 2024. – Vol. 3. Article 98. DOI: 10.1007/s44217-024-00173-z.

8. Johri, A. Misconceptions, Pragmatism, and Value Tensions: Evaluating Students' Understanding and Perception of Generative AI for Education / A. Johri, A. Hingle, J. Schleiss // *arXiv*. 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2410.22289 (дата обращения: 02.07.2026).

9. Алешковский, И. А. Российские студенты о возможностях и ограничениях использования искусственного интеллекта в обучении / И. А. Алешковский, А. Т. Гаспаришвили, Н. П. Нарбут, О. В. Крухмалева, Н. Е. Савина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология. – 2024. – Т. 24, № 2. – С. 335–353. DOI: 10.22363/2313-2272-2024-24-2-335-353. URL: https://journals.rudn.ru/sociology/article/view/39929/23650 (дата обращения: 04.07.2026).

10. Институт образования Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Яндекс Образование. Искусственный интеллект и высшее образование: возможности, практики и будущее [Электронный ресурс]. – 2024. URL: https://education.yandex.ru/aihighreport (дата обращения: 04.07.2026).

11. Яндекс Образование. Искусственный интеллект в образовании: инструменты, вызовы и перспективы для студентов и преподавателей [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: https://education.yandex.ru/knowledge/iskusstvennii-intellekt-v-obrazovanii-instrumenti-vizovi-i-perspektivi-dlia-studentov-i-prepodavatelei (дата обращения: 04.07.2026).

12. Пузанова, Ж. В. Образовательные практики настоящего и будущего: мнение студентов об использовании искусственного интеллекта в вузе / Ж. В. Пузанова, Я. А. Гудкова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология. – 2026. – Т. 26, № 1. – С. 190–203. DOI: 10.22363/2313-2272-2026-26-1-190-203. – URL: https://journals.rudn.ru/sociology/article/view/49839 (дата обращения: 04.07.2026).

УДК 004.8:378.147

НАВЫКИ XXI ВЕКА: РАБОТА С НАУЧНЫМ ТЕКСТОМ И ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

Понкратова С.А., к.т.н., доцент кафедры химической кибернетики;
ORCID: 0009-0006-0806-0800;
Понкратов А.С., старший преподаватель кафедры химической кибернетики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия

SKILLS OF THE 21ST CENTURY: WORKING WITH SCIENTIFIC TEXT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Ponkratova S.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Chemical Cybernetics;
ORCID: 0009-0006-0806-0800;
Ponkratov A.S., Senior Lecturer at the Department of Chemical Cybernetics, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Аннотация

Представлено практическое занятие по дисциплине «Информационные технологии» для студентов первого курса технических направлений. Оно направлено на работу с научно-техническими материалами и эффективное использование возможностей современных

цифровых инструментов, включая генеративный искусственный интеллект. Занятие предполагает приобретение опыта сравнительного анализа собственных выводов и результатов, полученных от искусственного интеллекта.

Ключевые слова: информационные технологии, цифровая культура, генеративный искусственный интеллект, научный текст, критическое мышление

Abstract

A practical class on the discipline "Information Technologies" for first-year students of technical fields is presented. It is aimed at working with scientific and technical materials and effectively using the capabilities of modern digital tools, including generative artificial intelligence. The class involves gaining experience in conducting a comparative analysis of one's own conclusions and the results obtained from artificial intelligence.

Keywords: information technology, digital culture, generative artificial intelligence, scientific text, critical thinking

В современном мире умение эффективно использовать цифровые инструменты становится неотъемлемой частью профессиональной культуры специалиста. Цифровая культура предполагает не только знание современных информационных технологий и их возможностей, но и способность применять эти знания в своей работе. Именно поэтому дисциплина «Информационные технологии», которая изучается студентами на первом курсе, включена в федеральный пилотный проект по фундаментальным дисциплинам для технических и естественно-научных направлений обучения. Кроме того, цифровая культура включает соблюдение цифровой этики – особенно важной при использовании искусственного интеллекта [1, 2]. Это означает ответственное отношение к технологиям и понимание их влияния на общество и профессиональную деятельность.

Одним из ключевых факторов успешной профессиональной деятельности будущих специалистов технических и естественно-научных направлений является способность эффективно взаимодействовать с научно-техническими источниками информации. Современная научная литература характеризуется высокой степенью сложности, насыщенностью специализированной терминологией и многообразием подходов к изложению материала. Именно поэтому формирование навыков быстрого ориентирования в таком материале, извлечения ключевой информации и ее критическое осмысливание приобретает особую актуальность в эпоху стремительного развития цифровых технологий и искусственного интеллекта. Более того, развитие цифровых инструментов, таких как генеративный искусственный интеллект [3, 4], требует от студентов не только владения базовыми навыками работы с информационными технологиями, но и способности критически оценивать результаты взаимодействия с такими системами.

Раздел дисциплины «Современные технологии цифрового офиса» содержит специальное практическое занятие, цель которого – научить будущих специалистов эффективно работать с научными текстами совместно со средствами генеративного искусственного интеллекта (ИИ). Студенты освоят важные навыки: понимание структуры научных статей, выделение ключевых терминов, умение задавать точные вопросы генеративному искусственному интеллекту, составление эффективных промптов для выполнения заданий при помощи нейросетей, а также анализ собственных результатов и сопоставление их с ответами, полученными от ИИ-систем.

Задание состоит из трех основных этапов: сначала студент работает с текстом статьи самостоятельно, затем повторяет те же действия при помощи нейросети, а в далее проводит сравнительный анализ собственных ответов и ответов, предоставленных нейросетью.

В качестве примера приведен абзац статьи [5] «При компьютерном моделировании энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии необходимо учитывать раз-

личные аспекты, связанные с технологическими, экономическими и экологическими показателями производств. С позиций энерго- и ресурсосбережения учет экономической эффективности является необходимым на всех этапах решения задач компьютерного моделирования. Для оценки экономической эффективности химико-технологических процессов наиболее целесообразно использовать критерий приведенных (годовых) затрат как наиболее чувствительный к изменению режимных и конструкционных параметров аппаратов.»

На первом этапе студент выполняет следующие шаги:

1. Читает предложенный абзац научного текста.
2. Формулирует 2-3 содержательных вопроса по прочитанному тексту.
3. Озаглавливает абзац кратким информативным заголовком.
4. Выделяет встречающиеся научные термины и понятия.
5. Заполняет соответствующую колонку («Студент») предварительно подготовленной таблицы в документе Microsoft Word (табл.1) либо в его аналоге.

На втором этапе, после самостоятельной проработки, студент обращается к искусственному интеллекту и выполняет следующие шаги:

1. Повторно читает тот же самый абзац.
2. Формирует промпт-запрос для нейросети аналогично первому этапу.
3. Получает от нейросети ответы на поставленные вопросы, заголовок и перечень терминов.
4. Заносит полученные данные в отдельную колонку («ИИ») той же самой таблицы 1.

Таблица 1

Формат таблицы «Студент vs ИИ»

Вопросы студента	Вопросы ИИ
1. Какие аспекты необходимо учитывать при компьютерном моделировании энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии? 2. Какой критерий целесообразно использовать для оценки экономической эффективности химико-технологических процессов?	1. Почему важно учитывать экономические показатели при компьютерном моделировании энерго- и ресурсосберегающих процессов? 2. Какие критерии используются для оценки экономической эффективности химико-технологических процессов и почему именно этот критерий считается оптимальным? 3. Как изменения режимных и конструкционных параметров влияют на показатель приведённых годовых затрат?
Заголовок Студента	Заголовок ИИ
Оценка экономической эффективности химико-технологического процесса с позиций энерго- и ресурсосбережения	Компьютерное моделирование энергосберегающих процессов химической технологии
Ключевые понятия Студента	Ключевые понятия ИИ
Компьютерное моделирование Химическая технология Приведенные затраты Системный подход	Компьютерное моделирование Энерго- и ресурсосбережение Экономическая эффективность Приведённые затраты Химико-технологические процессы

На завершающем этапе студент проводит сравнительный анализ в процентном соотношении собственных ответов с результатами, полученными от нейросети при анализе научной статьи, что позволяет глубже понять материал и избежать ошибок. Предложенная структура

задания (сравнительный анализ ответов «Студент vs ИИ» в процентном соотношении) – практичный и измеримый подход, который действительно позволяет оценить, как знания студента, так и возможности нейросети. Такой подход развивает критическое мышление – приходится анализировать, почему возникли расхождения, и делать выводы о том, насколько надежны оба источника.

По результатам анализа студент составляет итоговый отчет, в котором приводит формулировки промптов для ИИ и фиксирует наиболее удачные варианты решений, указывая авторство ответа (студента либо ИИ). Отчет оформляется в текстовом редакторе и содержит выводы относительно эффективности применения искусственного интеллекта при работе с научным текстом. Регулярное сопоставление собственного мнения с выводами ИИ стимулирует студента к самостоятельному анализу и оценке достоверности полученной информации. Этот навык крайне важен для будущих специалистов технических и естественно-научных направлений, так как научная деятельность всегда предполагает умение сомневаться и аргументированно отстаивать собственную точку зрения.

Для студентов 1-го курса обучения важна очередность выполнения этапов. Первый этап сначала предполагает самостоятельно разобраться в материале, выделить ключевые понятия и после проработки абзацев составить план статьи. Только после этого имеет смысл подключить ИИ (выполнить второй этап) и сравнить свои ответы с ответами нейросети. Такой порядок помогает избежать ситуации, когда студент полностью полагается на автоматические ответы и теряет самостоятельность в работе. Это особенно ценно при обучении, потому что развивает способность мыслить аналитически и не принимать информацию без проверки.

Еще два важных момента – как написать правильно сформулированный запрос (промпт) для эффективного взаимодействия с нейросетями и оценить качество ответов ИИ.

На основании выделенных на первом этапе ключевых понятий студент уже может построить запрос так, чтобы получить действительно релевантную информацию. Сложный запрос лучше всего разбивать на несколько частей, например, сначала указать предметную область, уточнить определение термина, спросить об основных принципах работы, после чего поинтересоваться примерами применения в реальной жизни. Очень полезно использовать уточняющие и последовательные вопросы, которые позволяют получить достаточно точный и детальный ответ, например, для приведенного выше абзаца, уточняющий вопрос «Какие преимущества учета экономических показателей на каждом этапе моделирования?» дает детальный ответ по экономическим показателям и преимуществам каждого из них.

Таким образом, в ходе выполнения задания формируются такие необходимые навыки промпт-инжиниринга для постановки вопросов нейросети по научному тексту как, умение выделять ключевые научные понятия, навык четкой структуры промпта, использование уточняющих и последовательных вопросов.

Проверка корректности формулировки запроса (промпта) тесно связана с ожидаемым уровнем точности ответов, получаемых от генеративной модели искусственного интеллекта. При этом генеративный искусственный интеллект обладает определёнными ограничениями – он способен допускать ошибки, выдавать устаревшую информацию или интерпретировать данные некорректно. В тексте могут присутствовать незначительные грамматические и орфографические ошибки, нет чёткой структуры, а абзацы повторяют одну и ту же мысль, но разными словами. Нейросеть способна «галлюцинировать» [6], т.е. приводить несуществующие факты, статистику, цитаты или даже целые фрагменты текстов, которых никогда не существовало. Нейросеть может уверенно приводить вымышленные данные, ссылки на несуществующие исследования или источники информации, создавая иллюзию достоверности.

Таким образом, представленное практическое занятие направлено на формирование у студентов 1-го курса комплекса компетенций, позволяющих уверенно работать с текстовым научным контентом и грамотно использовать возможности генеративного искусственного интеллекта. В процессе работы решаются ключевые задачи:

– развитие навыка глубокого понимания структуры и содержания научных публикаций;
– обучение методам выделения и систематизации базовых терминов и концептов;
– освоение техники постановки содержательных вопросов по прочитанному материалу;
– овладение основами промпт-инжиниринга – искусства создания эффективных инструкций для выполнения заданий нейросетевыми моделями;
– приобретение опыта сравнительного анализа собственных ответов и результатов, полученных с помощью искусственного интеллекта.

Предлагаемый подход сочетает традиционные методы аналитической работы с текстом и инновационные практики взаимодействия с современными цифровыми инструментами. Такой синтез позволяет не только повысить качество усвоения учебного материала, но и сформировать устойчивые профессиональные компетенции, востребованные в современной цифровой среде.

Список литературы

1. Филимонова, И. В. Этическая сторона использования искусственного интеллекта в образовании / И. В. Филимонова // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16, № s1. – URL: https://esj.today/PDF/64FAVN124.pdf.

2. From Artificial Intelligence (AI) to Intelligence Augmentation (IA): Design Principles, Potential Risks, and Emerging Issues / L. Zhou, C. Rudin, M. Gombolay [et al] // AIS Transactions on Human-Computer Interaction. – 2023. Vol. 15 (1). P. 111-135.

3. Косяков, Д. В. Генеративный искусственный интеллект как драйвер трансформации науки: исследовательская повестка и методологические подходы / Д. В. Косяков, П. Ю. Блинов // Управление наукой и наукометрия. – 2025. – Т. 20, № 3. – С.404-426. DOI: https://doi.org/10.33873/2686-6706.2025.20-3.404-426.

4. Yoo, J. Defining the Boundaries of AI Use in Scientific Writing: A Comparative Review of Editorial Policies / J. Yoo // Journal of Korean Medical Science. – 2025. – Vol. 40, № 23. e187. DOI: https://doi.org/10.3346/jkms.2025.40.e187

5. Саркисов, П. Д. Проблемы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии / П. Д. Саркисов // Химическая промышленность. – 2000. – № 1. – С.20-27.

6. Шевченко, А. А. «Галлюцинации» ИИ как новая форма эпистемической ошибки / А. А. Шевченко // Respublica Literaria. – 2025. – Т. 6, № 4. – С. 93-98. DOI: 10.47850/RL.2025.6.4.93-98.

УДК 37.01

ОБРАЗОВАНИЕ В ЭПОХУ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Пуряев А.С., д.э.н., доцент, профессор кафедры производственного менеджмента, Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны, Россия;
ORCID: 0000-0003-1949-5763;
E-mail: aidarp@mail.ru

EDUCATION IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Puryaev A.S., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Production Management, Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia;
ORCID: 0000-0003-1949-5763;
E-mail: aidarp@mail.ru

Аннотация

В статье представлен обзор семи иностранных и трех российских источников, предметом исследования которых является искусственный интеллект в образовании. Проведенный обзор характеризует в целом тенденцию на применение, качественное внедрение генеративных инструментов в образовательный процесс повсеместно. Представлены современные методы изучения трансформации образования под воздействием искусственного интеллекта. Выявлены достоинства (возможности) и недостатки (угрозы) использования генеративных инструментов в мировой образовательной среде. Преподавать будущего становится «дирижером» и модератором образовательного процесса, способствующего получению персонализированного и адаптированного обучения.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект, ИИ, большие языковые модели (БЯМ), трансформация образования

Abstract

The article provides an overview of seven foreign and three Russian sources whose research focuses on artificial intelligence in education. The review generally characterizes the trend towards the application and qualitative implementation of generative tools in the educational process worldwide. Modern methods for studying the transformation of education under the influence of artificial intelligence are presented. The advantages (opportunities) and disadvantages (threats) of using generative tools in the global educational environment are identified. The teacher of the future becomes a «conductor» and moderator of the educational process, contributing to personalized and adapted learning.

Keywords: generative artificial intelligence, AI, Large Language Models (LLM), education transformation

1. Введение и литературный обзор

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в образовательный процесс представляет собой классический пример разрушающей инновации (*disruptive innovation*), которая фундаментально меняет архитектуру передачи знаний, оценки компетенций и управления образовательными учреждениями. Переход от традиционных моделей к адаптивным, интеллектуальным системам требует переосмысления роли преподавателя, студента и самого института образования.

Современная зарубежная научная мысль фокусируется на влиянии генеративного ИИ (*Large Language Models, LLM*) на педагогику и академическую среду. Kasneci и др. [1] в своем фундаментальном исследовании анализируют возможности и вызовы больших языковых моделей, таких как ChatGPT, подчеркивая их потенциал в создании интеллектуальных репетиторов и автоматизации рутинных задач. Большие языковые модели (LLM) вошли в нашу жизнь и никуда не денутся. Авторы предлагают использовать их для создания образовательного контента, повышения вовлеченности и интерактивности учащихся. Акцентируется, что потенциальная предвзятость в результатах работы моделей, необходимость постоянного контроля со стороны человека и возможность неправомерного использования, характерны не только для применения искусственного интеллекта в образовании. Crompton и Burke [2] проводят масштабный обзор состояния дел в высшем образовании, отмечая, что ИИ перестает быть вспомогательным инструментом и становится системообразующим фактором. Исследования проводились на шести континентах мира. Тенденция сместилась из США в Китай, который вышел на первое место по количеству публикаций об использовании искусственного интеллекта в образовании. Аффиляция исследователей этого вопроса сместилась в область педагогики (наиболее распространённой предметной областью было изучение языков), 72% исследований были посвящены студентам, 17% – преподавателям и 11% – менеджерам. В це-

лом, 2021 и 2022 годах количество публикаций выросло почти в два-три раза по сравнению с предыдущими годами.

Su и Yang [3] предлагают концептуальную рамку для применения генеративного ИИ, выделяя сценарии его использования для совместного творчества, создания знаний (*co-creation*) и персонализации траекторий обучения. Т.е. предлагается теоретическая модель, которая имеет название «IDEE». Она включает применение ChatGPT и других генеративных ИИ в образовании, предполагает соблюдение этических правил, оценку эффективности, определение целевых показателей, установление оптимального уровня автоматизации.

Важным вектором исследований является формирование «ИИ-грамотности» (*AI literacy*). Ng и др. [4] концептуализируют этот термин, доказывая, что понимание принципов работы ИИ становится базовой мета-компетенцией 21-го века. В работе был проведен обзор литературы по 30 существующим рецензируемым статьям с целью концептуализации нового понятия «грамотность в области искусственного интеллекта» и поиска прочной теоретической основы для определения, преподавания и оценки грамотности в области ИИ. В итоге были выделены четыре аспекта (знание и понимание, использование и применение, оценка и создание, а также этические вопросы) формирования грамотности в области ИИ на основе адаптации классических концепций грамотности. Williamson и Eynon [5] рассматривают внедрение ИИ через *критическую и политическую призму*, обращая внимание на то, как технологические корпорации влияют на образовательную повестку. Цель данной статьи – представить некоторую историческую перспективу для коллекции статей и современные преувеличения в отношении искусственного интеллекта в образовании (*AI to education, AIed*) и связанных с ними идей об адаптивных системах, педагогических агентах, персонализированном обучении, интеллектуальных преподавателях и автоматизированном управлении.

Baidoo-Anu и Ansah [6] систематизируют мифы и реальности использования ИИ, предупреждая о когнитивных рисках и проблеме «интеллектуальной лени» студентов. В работе рассматриваются потенциальные преимущества и недостатки использования ChatGPT в процессе обучения. Демонстрируются ограничения, присущие ChatGPT. К ним относятся генерация сомнительной или ложной информации, предвзятость при обучении на данных, проблемы с конфиденциальностью и т.д. В контексте оценки знаний Moorhouse et al. [7] анализируют стратегии ведущих мировых университетов по адаптации систем оценивания в условиях, когда генерация текста ИИ становится повсеместной. В этом обзоре рассматривается, в какой степени 50 ведущих мировых ВУЗов разработали или изменили свои руководства по оцениванию с учетом использования генеративного искусственного интеллекта.

Российские исследователи и аналитические центры также активно изучают данную проблематику, адаптируя глобальные тренды к национальному контексту. Аналитический доклад Яндекс Образования и НИУ ВШЭ [8] детально описывает текущий ландшафт применения ИИ в российских вузах, выделяя проблемы нормативного регулирования и кадрового дефицита. Титаренко Л.Г. [9] исследует риски цифровизации и внедрения ИИ, акцентируя внимание на этических дилеммах и сохранении гуманитарной составляющей образования. В работе идет речь о восприятии студентами достоинств и недостатков применения IT-технологий, осознании влияния новых технических средств на отдельного студента и общество в целом. Анализ осуществлялся по социологическим данным опросов студенчества, проведенных в Беларуси в 2021–2022 гг. Смирнов Сергей [10] проводит сравнительный анализ международных моделей интеграции ИИ в образование (азиатской, европейской, американской) и разрабатывает дифференцированные рекомендации для различных заинтересованных лиц образовательного процесса. Смирнов Сергей предложил измеримый показатель «Коэффициент Отставания». Данный показатель, к сожалению, демонстрирует пороговые значения для российской системы образования. Им определены шесть кластеров ключевых компетенций, необходимых

в будущей образовательной парадигме: фундаментальный профессиональный базис, технологическое мастерство, когнитивная устойчивость, творческое мышление, человекоцентричные навыки и этическое измерение [10].

Таким образом, обзор источников показывает, что образование находится в *точке раздвоения* (*bifurcation*). От запрета технологий академическое сообщество переходит к их интеграции и управлению инновациями.

2. Методы исследования

Анализ вышеотмеченных источников демонстрирует, что для изучения трансформации образования под воздействием ИИ применяется широкий спектр методологических подходов. Можно выделить следующие обобщенные группы методов:

1. Систематический обзор литературы (*Systematic Literature Review, SLR*). Данный метод является доминирующим при исследовании быстро меняющейся области. Авторы используют протоколы PRISMA для отбора и синтеза сотен статей, выявляя макро-тренды. Этот метод применен в работах Crompton и Burke [2], а также Baidoo-Anu и Ansah [6] для формирования доказательной базы о реальном состоянии дел в сфере EdTech.

2. Концептуальное моделирование и фреймворк-анализ. Для структурирования хаотичного внедрения ИИ исследователи разрабатывают теоретические модели. Su J. и Yang W. [3] используют метод концептуального синтеза для создания рамки применения генеративного ИИ, а Ng D.T. и др. [4] применяют метод таксономии для выделения компонентов ИИ-грамотности.

3. Институциональный анализ и анализ политик (*Policy Analysis*). Moorhouse и др. [7] и аналитики НИУ ВШЭ [8] применяют метод контент-анализа официальных документов, стратегий и регламентов ведущих университетов. Это позволяет оценить уровень институциональной готовности и зрелости управления инновациями на уровне отдельных организаций.

4. Социологические эмпирические методы (опросные технологии). Для выявления особенностей восприятия ИИ-решений основными субъектами образовательного процесса (педагогами и обучающимися) в работах Kasneci с соавторами [1] и Титаренко Л.Г. [9] задействуется комплекс количественных и качественных эмпирических процедур, включая глубинные интервью и массовые анкетирования. Подобный подход позволяет диагностировать латентные препятствия и тревожные ожидания, связанные с автоматизацией учебной деятельности.

5. Междисциплинарный аналитический подход. В исследовании Смирнова С. [10] реализуется интегративная стратегия, объединяющая качественный и количественный инструментарий для многоаспектного изучения структурных сдвигов в образовании под влиянием ИИ-технологий.

6. Критический дискурс-анализ. Данный метод применяется Williamson и Eynon [5] с целью изменения нарративных конструкций, продвигаемых крупными технологическими игроками. Это позволяет обнажить коммерческие и идеологические интересы, которые маскируются внешне привлекательным инновационным брендингом EdTech-продуктов.

3. Результаты исследования

Обобщение проанализированного научного массива даёт возможность систематизировать положительные эффекты и потенциальные угрозы, сопутствующие внедрению ИИ в образовательную практику.

Сильные стороны и открывающиеся перспективы

– *Глубокая персонализация учебного процесса.* Адаптивные системы на основе ИИ оценивают индивидуальные когнитивные особенности, темп усвоения материала и выявленные пробелы, формируя для каждого студента уникальный маршрут обучения [1, 3].

– *Снятие рутинной нагрузки.* ИИ-инструменты принимают на себя проверку типовых заданий, генерацию тестов и решение административных задач, что высвобождает временной ресурс преподавателей для менторства и творческой деятельности [2, 6].

– *Непрерывность образовательной поддержки.* Интеллектуальные тьюторы и чат-боты обеспечивают мгновенную обратную связь и консультационную помощь в любое время суток, минимизируя организационные и психологические барьеры [7].

– *Прогностическая аналитика.* ИИ-решения позволяют прогнозировать риски снижения успеваемости и отчисления студентов, давая администрации вузов возможность своевременно применять превентивные управленческие воздействия [8].

– *Формирование востребованных компетенций.* Интеграция ИИ стимулирует развитие у обучающихся ИИ-грамотности, критического мышления и навыков эффективного взаимодействия с генеративными моделями (промпт-инжиниринг), что становится критически важным для будущей профессиональной реализации [4, 10].

Риски и вызовы

– *Угроза академической добросовестности.* Массовое использование генеративных моделей для выполнения письменных работ и расчётов ведёт к размыванию границ авторства и обесцениванию традиционных форматов контроля знаний [1, 7].

– *Проблема «галлюцинаций» и недостоверности.* Языковые модели могут генерировать убедительный, но фактически неверный контент, что требует от студентов и преподавателей постоянного верификационного контроля [6, 9].

– *Когнитивная разгрузка и деградация навыков.* Чрезмерное делегирование мыслительных процессов алгоритмам ведет к снижению способности к глубокому анализу, письму и самостоятельному решению сложных задач (эффект «*интеллектуальной лени*») [3, 5].

– *Цифровое неравенство.* Доступ к передовым платным моделям ИИ и качественной вычислительной инфраструктуре неравномерен, что может усугубить разрыв между элитными и периферийными образовательными учреждениями [9], [10].

– *Этические и приватностные риски.* Сбор больших данных о поведении и успеваемости студентов создает угрозы утечки информации и манипулирования сознанием, а также вопросы авторского права [5, 8].

4. Дискуссия и заключение

Внедрение искусственного интеллекта в образовательную сферу выходит далеко за рамки простого технологического обновления *(upgrade)*. Данный процесс представляет собой системную управленческую и социокультурную реконфигурацию всей отрасли. В терминах теории управления инновациями фиксируется переход от парадигмы *замещения* (*substitution*) человеческого труда машинными алгоритмами к парадигме *усиления* (*augmentation*) – к выстраиванию согласованного взаимодействия между интеллектом человека и вычислительными мощностями ИИ.

Наблюдаемые тренды свидетельствуют о необратимом смещении педагогической роли: преподаватель утрачивает функцию простого транслятора готовых знаний (эту задачу ИИ решает эффективнее) и обретает новые сущности – модератора учебного процесса, координатора, наставника и архитектора образовательного опыта. Однако столь глубокая трансформация наталкивается на инерционность образовательной среды. Как справедливо предостерегают Williamson и Eynon [5], существует реальная опасность, что институциональные системы будут подстраиваться под коммерческую логику технологических гигантов, упуская из виду собственно педагогические приоритеты. В связи с этим приоритетной задачей для управленцев в образовании становится не столько приобретение лицензионных ИИ-платформ, сколько глубокая перестройка организационной культуры, пересмотр критериев эффективности преподавателей и кардинальное обновление оценочных инструментов. Система оценивания должна отказаться от проверки механической памяти и алгоритмических навыков в пользу диагностики эвристического мышления, этической рефлексии и умения формулировать корректные запросы (промпты) к машинам.

Наступление эпохи ИИ знаменует завершение индустриальной модели образования, ориентированной на стандартизированную трансляцию знаний массовой аудитории. Искусственный интеллект становится катализатором перехода к новой образовательной парадигме, в которой персонализация, непрерывность и адаптивность закрепляются в качестве базовых принципов.

Для управленческого корпуса образовательных учреждений, в том числе в аспекте руководства инновационными проектами, первостепенным выводом становится необходимость выстраивания упреждающей стратегической политики в отношении ИИ-трансформации. Отказ от внедрения интеллектуальных систем либо их полный запрет на административном уровне объективно ведут к снижению позиций на рынке образовательных услуг и потере конкурентных преимуществ. Эффективность преобразований зависит от комплексного подхода, который включает: формирование прозрачных этических стандартов; планомерное совершенствование профессиональных компетенций педагогического коллектива; корректировку учебных планов с приоритетом на умения, сохраняющие исключительно человеческую природу (эмпатийное взаимодействие, многоплановую коммуникацию, интеграцию знаний из разных дисциплин, рефлексивное оценивание). Грядущее образование строится не на конфронтации человека и алгоритмов, а на построении интегративной среды, в которой ИИ выступает действенным инструментом расширения интеллектуальных возможностей личности.

Список литературы

1. Kasneci E. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education // Learn. Individ. Differ. 2023. Vol. 103. P. 102274.

2. Crompton H., Burke D. Artificial intelligence in higher education: the state of the field // Int. J. Educ. Technol. High. Educ. 2023. Vol. 20, № 1. P. 22.

3. Su J., Yang W. Unlocking the Power of ChatGPT: A Framework for Applying Generative AI in Education // ECNU Rev. Educ. 2023. Vol. 6, № 3. P. 355–366.

4. Ng D.T.K. et al. Conceptualizing AI literacy: An exploratory review // Comput. Educ. Artif. Intell. 2021. Vol. 2. P. 100041.

5. Williamson B., Eynon R. Historical threads, missing links, and future directions in AI in education // Learn. Media Technol. Routledge, 2020. Vol. 45, № 3. P. 223–235.

6. Baidoo-Anu D., Owusu Ansah L. Education in the Era of Generative Artificial Intelligence (AI): Understanding the Potential Benefits of ChatGPT in Promoting Teaching and Learning. 2023. P. 52–62.

7. Moorhouse B.L., Yeo M.A., Wan Y. Generative AI tools and assessment: Guidelines of the world's top-ranking universities // Comput. Educ. Open. 2023. Vol. 5. P. 100151.

8. Баранников К.А. et al. Искусственный интеллект и высшее образование: возможности, практики и будущее [Электронный ресурс] // Яндекс Образование & НИУ ВШЭ. 2024. – С. 1–60. – URL: https://education.yandex.ru/aihighreport (дата обращения: 20.08.2026).

9. Титаренко Л.Г. Цифровизация обучения: восприятие студентами дистанционного обучения и рисков // Вопросы философии. – 2026. – № 1 SE-Философия и наука. – С. 115–124.

10. Смирнов С. Трансформация образования в эпоху искусственного интеллекта: вызовы, перспективы и новые компетенции [Электронный ресурс] // Сергей Смирнов. – Москва, 2025. – С. 1–55. – URL: https://clck.ru/3VKdLz (дата обращения: 20.08.2026).

УДК 316.6:004.7

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РЕФЕРЕНТНОСТИ МОЛОДЁЖИ В ЦИФРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Ржевская Ю.Е., доцент кафедры «Экономическая и правовая безопасность», заместитель проректора по науке УВО «Университет управления «ТИСБИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-2527-2419

SOCIO-PSYCHOLOGICAL FACTORS OF YOUTH REFERENCE IN THE DIGITAL SPACE

Rzhevskaya Yu.E., Assoc. Prof. of the Department of Economic and Legal Security, Vice-Rector for Research, University of Management «TISBI», Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-2527-2419

Аннотация

В статье представлен развернутый теоретический анализ социально-психологических механизмов, опосредующих и детерминирующих формирование референтных отношений современной учащейся молодёжи в условиях тотальной цифровой трансформации глобальной социальной среды. Базовым исходным тезисом исследования выступает положение о том, что современные интернет-технологии и платформенные экосистемы не просто экстенсивно расширяют традиционные каналы коммуникации, но качественно и фундаментально видоизменяют внутреннюю структуру референтных групп, конвенциональные способы межличностного социального сравнения и базовые идентификационные процессы личности. Теоретико-методологический фундамент осуществленного анализа образуют фундаментальные положения символического интеракционизма Дж. Мида и Г. Блумера, классическая психосоциальная концепция идентичности Э. Эриксона, а также релевантные данные современных отечественных и зарубежных эмпирических исследований цифровизации. Данная полипарадигмальная методология позволяет интерпретировать цифровую референтность как комплексный динамический феномен, в границах которого интерсубъективное конструирование персональной Я-концепции и селекция значимых других когнитивно опосредованы архитектоникой сетевых интеракций. К числу ведущих детерминант изучаемого процесса автор относит квантификацию фундаментальной потребности в социальном признании через метрики вовлеченности (лайки, комментарии, просмотры), алгоритмическую регуляцию межличностной компарации и репрезентативный прессинг инфлюенсеров, выступающих в роли «цифровых суперсверстников». В ходе исследования установлено, что в условиях полиреферентности и прогрессирующей утраты константности виртуальных общностей неограниченный компаративный пул сетевой среды несет в себе амбивалентные следствия. Фасилитируя репрезентативные эго-эксперименты и расширяя внешние границы социализации, он одновременно выступает триггером эскалации личностной тревожности, девальвации реальных достижений субъекта и мозаичной фрагментации самооценки индивида под постоянным давлением идеализированных медиаобразов. Практическая проекция полученных результатов центрирована на императиве интеграции в современные дидактические программы прикладных учебных модулей по формированию критической цифровой грамотности и рефлексивной суверенности обучающихся перед лицом жестких платформенных интервенций рекомендательных систем. Выявленные закономерности призваны служить методологическим фундаментом для долгосрочного проектирования комплексных стратегий психолого-педагогического сопровождения и гармонизации социализации учащейся молодёжи.

Ключевые слова: референтность, цифровое пространство, молодёжь, социальное сравнение, цифровая идентичность, референтные группы, инфлюенсеры, цифровая грамотность, образование

Abstract

The article presents a comprehensive theoretical analysis of the socio-psychological mechanisms mediating and determining the formation of reference relations among contemporary student youth in the context of the total digital transformation of the global social environment. The fundamental initial thesis of the study posits that contemporary internet technologies and platform ecosystems do not merely extensively expand traditional communication channels, but qualitatively and fundamentally alter the internal structure of reference groups, conventional modes of interpersonal social comparison, and the basic identification processes of the individual.

The theoretical and methodological foundation of the conducted analysis is formed by the core tenets of symbolic interactionism by G. Mead and H. Blumer, E. Erikson's classical psychosocial concept of identity, as well as relevant data from contemporary domestic and foreign empirical studies on digitalization. This poly-paradigmatic methodology allows for the interpretation of digital reference as a complex dynamic phenomenon, within the boundaries of which the intersubjective construction of a personal self-concept and the selection of significant others are cognitively mediated by the architectonics of network interactions.

Among the leading determinants of the process under study, the author includes the quantification of the fundamental need for social recognition through engagement metrics (likes, comments, views), the algorithmic regulation of interpersonal comparison, and the representational pressure of influencers acting as "digital superpeers". The study establishes that under conditions of poly-reference and the progressive loss of constancy of virtual communities, the unrestricted comparative pool of the network environment entails ambivalent consequences. While facilitating representational ego-experiments and expanding the external boundaries of socialization, it simultaneously acts as a trigger for the escalation of personal anxiety, the devaluation of the subject's actual achievements, and the mosaic fragmentation of the individual's self-esteem under the constant pressure of idealized media images.

The practical projection of the obtained results is centered on the imperative of integrating applied educational modules into contemporary didactic curricula to foster critical digital literacy and the reflexive sovereignty of learners in the face of rigorous platform interventions by recommendation systems. The identified regularities are intended to serve as a methodological foundation for the long-term design of comprehensive strategies for the psychological and pedagogical support and harmonization of the socialization of student youth.

Keywords: reference, digital space, youth, social comparison, digital identity, reference groups, influencers, digital literacy, education

Введение

Интенсивная интерсекция ключевых сфер жизнедеятельности с цифровыми технологиями выступает маркером трансформации социума, видоизменяя параметры социализации и онтогенеза подрастающих поколений. Виртуальная среда элиминировала свой исключительно вспомогательный статус. Для современной молодёжи онлайн-пространство репрезентирует базовое поле экзистенциального и социального опыта, где разворачивается интерсубъективное взаимодействие, кристаллизуются аксиологические доминанты и конструируется интегральное Я-пространство. Данная феноменология детерминирует необходимость концептуальной ревизии классических моделей референтного давления.

Дефиниция «референтная группа», восходящая к трудам Г. Хаймена, Р. Мертона и Т. Ньюкома, изначально фиксировала функцию общности, выступающей эталоном для индивида. В условиях алгоритмически детерминированной сетевой реальности архитектоника подобных отношений претерпевает сущностные инверсии. Теряя признаки стабильности и пространственной локализации, цифровая референтность приобретает свойства ситуативности и множественности, где иерархия значимых других опосредуется прогностическими фильтрами платформ. Согласно выводам, Е. П. Белинской, расширение компаративного пула в интер-

нет-среде не только открывает траектории персонального самоосуществления, но и выступает источником пролонгированных психологических рисков и дезадаптивных состояний [1].

Вектор исследовательской логики направлен на экспликацию и систематизацию социально-психологических факторов референтности молодёжи в цифровой среде, а также на верификацию их влияния на характеристики идентичности и социализации. Практическая проекция результатов соотносится с запросами образовательных институций, перед которыми стоит задача психолого-педагогического сопровождения обучающихся в процессе автономизации их цифрового Я и формирования суверенной идентичности.

Методика

Теоретико-методологический контур исследования центрирован вокруг интеграции нескольких комплементарных парадигм. Базовым объяснительным принципом выступает психосоциальный подход Э. Эриксона, где генезис идентичности эксплицируется как результат диалога между интрапсихическими структурами индивида и социокультурными требованиями интерсубъективного пространства. Концептуальным дополнением послужила традиция символического интеракционизма и теории референтных групп Дж. Мида и Г. Блумера, позволяющая операционализировать зависимость социализационных траекторий от самоидентификации субъекта с релевантными макро- и микросоциумами. В качестве дополнительного базиса привлечены современные концептуализации цифровой идентичности и компаративных сетевых процессов, развиваемые Г. У. Солдатовой, Е. И. Рассказовой и П. М. Валкенбург.

Хронологический охват публикаций ограничен последними 5–10 годами, что позволяет уловить актуальные тренды в изучаемой области и избежать обращения к устаревшим моделям.

Основная часть

Цифровая среда принципиально перестраивает архитектуру референтных отношений. В отличие от традиционных референтных групп, которые отличались относительной устойчивостью, пространственной привязанностью и непосредственностью контактов, цифровые референтные группы приобретают ряд новых характеристик. Прежде всего, они становятся множественными и динамичными: молодой человек может одновременно принадлежать к нескольким виртуальным сообществам, каждое из которых транслирует собственные нормы, ценности и эталоны. Как показывают исследования М. Ю. Кондратьева, подростковый возраст и ранняя юность изначально являются периодами наибольшей нестабильности референтных предпочтений, однако в онлайн-среде эта нестабильность многократно усиливается, и референтные группы могут сменяться с высокой частотой, реагируя на ситуативные запросы индивида [2].

Другим важнейшим отличием выступает отсутствие традиционных механизмов социального контроля, характерных для офлайн-групп. В виртуальном пространстве, как отмечает Д. В. Шарабарин, влияние референтных групп перестаёт быть прямым и директивным, уступая место более тонким и латентным формам воздействия, опосредованным алгоритмами рекомендательных систем [3]. Это порождает иллюзию автономии, однако на деле повышает уязвимость индивида перед неочевидными и часто манипулятивными стратегиями цифровых платформ, которые организуют социальное сравнение таким образом, что оно перестаёт быть исключительно межличностным процессом и превращается в технологически управляемый феномен.

Ключевым драйвером цифровой референтности выступает фундаментальная потребность молодёжи в социальном признании и одобрении. Эмпирические данные, представленные в работах Г. У. Солдатовой и соавторов, свидетельствуют о высокой чувствительности подростков к вербальным и невербальным сигналам со стороны значимых других [4]. В онлайн-среде эта потребность находит новые каналы удовлетворения через количественные метрики – лайки, репосты, комментарии, просмотры, которые выступают в роли операциональных индикаторов социального капитала. Чем выше эти показатели, тем более престижным становится пользователь в глазах сообщества, что, в свою очередь, усиливает его приверженность транслируемым нормам. Вместе с тем данный механизм несёт в себе деструктивный потенциал, поскольку подростки постоянно сталкиваются с тщательно отобранными и отре-

дактированными образами сверстников и инфлюенсеров, что приводит к острому диссонансу между реальной и желаемой версиями собственного Я. Этот диссонанс, как показывают исследования П. М. Валкенбург и коллег, коррелирует с повышением уровня тревожности, снижением самоуважения и даже развитием депрессивных симптомов [5].

Отдельного рассмотрения заслуживает феномен инфлюенсеров, которые в зарубежной литературе обозначаются как «digital superpeers» – цифровые суперсверстники. Инфлюенсеры воспринимаются молодёжью как референтные фигуры, задающие моду, стиль поведения, систему ценностей, причём они одновременно принадлежат к когорте «своих» (в силу близости по возрасту и стилю коммуникации) и наделены качествами, недоступными рядовому подростку (широкая известность, доступ к эксклюзивным ресурсам, экспертный статус). С одной стороны, такая фигура способствует расширению социальных сетей и обогащению поведенческого репертуара. С другой стороны, транслируемые инфлюенсерами эталоны часто оказываются недостижимыми, что усиливает негативный эффект социального сравнения [6]. Серьёзную обеспокоенность вызывает недостаточная прозрачность коммерческих интересов многих инфлюенсеров.

Суверенизация автономной субъектности пользователя деформируется под давлением прогностических систем, регулирующих конфигурацию индивидуального информационного трафика. В русле концепции «алгоритмического Я» генезис идентичности репрезентируется как гибридный процесс, где классическая автономия воли и интерсубъективный дискурс дополняются когнитивным сопряжением с предикативными матрицами цифровых платформ [7]. Рекомендательные фильтры осуществляют селекцию стимульного материала на основе ретроспективного анализа поведенческих паттернов субъекта, фиксируя его латентные интенции и предпочтения. В результате они влияют на круг доступных тем, образцов поведения и точек зрения, через которые пользователь интерпретирует социальную действительность и самого себя. При длительном пребывании в таком информационном контуре возникает риск закрепления самоописания в пределах данных цифрового профиля и повторяющихся алгоритмически подобранных образов.

Передача части функций выбора и интерпретации технологическим системам может иметь отсроченные последствия для развития самосознания. В докладе Дж. Андерсона и Л. Рейни отмечается, что широкое распространение интеллектуальных технологий и их включение в повседневную реальность способно заметно изменить привычные представления о границах субъектности и характере взаимодействия человека с окружающим миром [8]. Вместе с тем развитие идентичности в цифровом контексте не утрачивает базовой психологической логики. Как показывают К. Сох и С. Талаифар, значимыми остаются отбор информации, освоение и проигрывание различных социальных ролей, а также включение полученного виртуального опыта в целостную систему представлений личности о себе [9].

Онлайн-пространство может выполнять функцию относительно безопасной площадки для опробования различных способов самопрезентации. Пользователь получает возможность примерять новые роли, самостоятельно определять границы открытости и создавать образы, которые по тем или иным причинам не реализуются в непосредственном общении. В этом процессе важную роль играют цифровые референтные группы: именно они становятся источником обратной связи, поддержки, одобрения или критики и тем самым участвуют в оценке отдельных сторон личности.

Однако расширение возможностей самовыражения сопровождается появлением устойчивого цифрового следа. Публикации, фотографии, комментарии и иные формы сетевой активности могут сохраняться продолжительное время и быть доступны неопределённому кругу лиц. По наблюдению Е. П. Белинской и О. А. Тихомандрицкой, осознание потенциальных социальных последствий собственной сетевой активности способно усиливать тревогу, связанную с публичным образом. В результате молодые люди могут ограничивать спонтанность самовыражения, тщательнее контролировать публикации и постоянно отслеживать состояние своей цифровой репутации [1].

Проведённый теоретический анализ позволяет систематизировать психологические риски, возникающие при изменении характера референтных отношений в условиях цифровизации. Их можно объединить в несколько относительно самостоятельных групп.

В деструктивном регистре цифровой социализации ключевую роль играет фасилитация процессов социального сравнения. Постоянная экспозиция рафинированных, идеализированных репрезентаций чужого успеха и внешности детерминирует когнитивные искажения субъективной нормы. Систематическое соотнесение реального «Я» с искусственными эталонами провоцирует фрустрацию, недовольство собственным телом или социальным статусом, а также девальвацию персональных достижений [10].

Контрбалансом описанной деструкции выступают латентные протективные ресурсы цифровой экосистемы. Режимы контролируемой анонимности предоставляют легитимные каналы для вербализации депривированных состояний, реализуя психотерапевтическую и катарсическую функции. Инструменты кастомизации приватности позволяют субъекту селективно управлять границами автономии своего Я, хотя уровень осознанности применения этих опций остается низким. Наконец, множественность альтернативных референтных ниш с полярными ценностными ориентациями расширяет пространство индивидуального выбора, способствуя кристаллизации суверенной и аутентичной цифровой идентичности [11].

Выводы

Резюмируя результаты теоретического осмысления проблемы, констатируем кардинальную деконструкцию традиционных референтных отношений под воздействием технологических агентов цифровой среды. Модифицированная архитектоника референтности приобретает свойства динамической лабильности, полицентричности и алгоритмической опосредованности. Детерминационный комплекс, управляющий онлайн-выбором молодёжи, центрирован вокруг опредмечивания потребности в социальном одобрении через квантифицируемые метрики, технологической регуляции компарации и амбивалентного статуса инфлюенсеров, синкретически совмещающих функции сверстника и транслятора нормативных эталонов. Данная феноменология задает биполярный характер цифровой социализации: если интеграция в виртуальные сообщества фасилитирует когнитивную мобильность, то прессинг отрежиссированного контента выступает катализатором дезадаптивных синдромов, фрустрации и эскалации тревожности.

Эксплицированные закономерности диктуют необходимость пересмотра превентивных стратегий в пространстве образовательных институций. Высокая сензитивность молодежной когорты к платформенным интервенциям актуализирует задачу проектирования программ по формированию критической цифровой грамотности. Данный вектор работы не может ограничиваться инструментальным освоением интерфейсов; фокус внимания должен смещаться к развитию рефлексивной суверенности обучающихся, их способности к деконструкции манипулятивных медиастратегий, осознанной селекции референтных ниш и прогнозированию рисков пролонгированного цифрового следа. Внедрение подобных дидактических модулей выступает императивным условием минимизации деструктивных эффектов сетевой социализации.

Прикладная проекция исследования связывается с разработкой стандартизированного диагностического инструментария и тренинговых комплексов для психолого-педагогического сопровождения субъектов образования. Представленные выводы обладают высоким потенциалом внедрения при стратегическом планировании проектных инициатив в рамках профильного трека «Цифровые технологии в образовании» Международного форума Kazan Digital Week – 2026.

Список литературы

1. Белинская, Е. П. Динамика идентичности в пространстве интернета: от репрезентации к конструированию / Е. П. Белинская // Психологические исследования. – 2021. – Т. 14, № 76. – С. 3.

2. Кондратьев, М. Ю. Социальная психология закрытых образовательных учреждений / М. Ю. Кондратьев. – СПб. : Питер, 2005. – 304 с.

3. Шарабарин, Д. В. О влиянии отношений референтности в сети Интернет на самоопределение студентов / Д. В. Шарабарин // Психологические исследования. – 2015. – Т. 8, № 44. – С. 12–18.

3. Солдатова, Г. У. Цифровая социализация и цифровая компетентность подростков: когнитивные и личностные аспекты / Г. У. Солдатова, А. Е. Вишнева // Консультативная психология и психотерапия. – 2023. – Т. 31, № 2. – С. 34–56.

4. Valkenburg, P. M. Friend networking sites and their relationship to adolescents' wellbeing and social self-esteem / P. M. Valkenburg, J. Peter, A. P. Schouten // CyberPsychology & Behavior. – 2006. – Vol. 9, № 5. – P. 584–590.

5. Twenge, J. M. Trends in U.S. adolescents' media use, 1976–2016: The rise of digital media, the decline of TV, and the (near) demise of print / J. M. Twenge, G. N. Martin, B. H. Spitzberg // Psychology of Popular Media Culture. – 2019. – Vol. 8, № 4. – P. 329–345.

6. Joseph, J. The algorithmic self: how AI is reshaping human identity, introspection, and agency / J. Joseph // Frontiers in Psychology. – 2025. – Vol. 16. – DOI: 10.3389/fpsyg.2025.1645795.

7. Anderson, J. Being Human in 2035: How Are We Changing in the Age of AI? / J. Anderson, L. Rainie // Elon University Imagining the Digital Future Center. – 2025. – April.

8. Soh, K. Identity development in digital contexts: Selection, construction, and integration / K. Soh, S. Talaifar // Current Opinion in Psychology. – 2024. – Vol. 56. – P. 101–108.

9. Verduyn, P. Do social network sites enhance or undermine subjective wellbeing? A critical review / P. Verduyn, O. Ybarra, M. Résibois, J. Jonides, E. Kross // Social Issues and Policy Review. – 2017. – Vol. 11, № 1. – P. 274–302.

10. Allen, K. A. What schools need to know about fostering school belonging: A meta-analysis / K. A. Allen, M. L. Kern, D. Vella-Brodrick, J. Hattie, L. Waters // Educational Psychology Review. – 2018. – Vol. 30, № 1. – P. 1–34.

УДК 62-52

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКОЙ УНИВЕРСИТЕТА

Савина Д.В., магистрант;
ORCID: 0009-0009-6323-5011;
Хафизов И.И., к.т.н., доцент кафедры физики перспективных технологий и материаловедения ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-7161-4021;
E-mail: khafizov@kpfu.ru

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN MANAGEMENT OF UNIVERSITY YOUTH POLICY

Savina D.V., Master's student, Kazan (Volga Region) Federal University
ORCID: 0009-0009-6323-5011;
Khafizov I.I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Physics of Advanced Technologies and Materials Science, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-7161-4021;
E-mail: khafizov@kpfu.ru

Аннотация

В статье рассматривается автоматизация подготовки статистической отчетности отдела организации заселения в общежития вуза с использованием нейросети «Claude». Обработка Excel-выгрузки, содержащая информацию о 2096 студентах и аспирантах выпускного курса была реализована с помощью оптимизированного текстового запроса, что позволило сократить время формирования итоговой таблицы с 1,5 часов до 3 минут при сохранении корректности данных. В работе приводится сравнительная характеристика различных нейронных сетей, а также алгоритм работы сотрудника отдела для выполнения поставленных задач. Результаты подтверждают эффективность применения ИИ для оптимизации административных процессов.

Ключевые слова: нейронные сети, автоматизация процесса, статистическая информация

Abstract

The article examines the automation of preparing statistical reporting for the department of organization of settlement in university dormitories using the neural network "Claude". Processing of an Excel export containing information about 2,096 undergraduate and graduate students of the final year was implemented using optimized text prompt, which reduced the time for generating the final table from 1.5 hours to 3 minutes while maintaining data accuracy. The paper provides a comparative characteristic of various neural networks as well as an algorithm for the department's staff to accomplish the assigned tasks. The results confirm the effectiveness of using AI to optimize administrative processes.

Keywords: neural networks, process automation, statistical information

Введение

Роботизация и автоматизация активно развиваются и становятся все более востребованными в различных сферах человеческой деятельности. Ведущие мировые компании демонстрируют впечатляющие успехи и постоянно радуют новыми разработками. В рамках моей деятельности в отделе организации заселения и внеучебной работы в общежитиях Департамента по молодежной политике Казанского (Приволжского) федерального университета одной из ключевых функций является сбор и анализ статистических данных о количестве проживающих иногородних и иностранных студентов в общежитиях вуза. Примером одной из задач является формирование таблицы с информацией о количестве студентов и аспирантов выпускного курса (без учета таковых, находящихся в академическом отпуске) с разбивкой на институты и гражданство. Рассматриваемые дома для учета информации по ним – это 10 домов Студенческого городка и 21 дом Деревни Универсиады. База данных – это выгруженная из рабочей системы таблица Excel. [1] Задача решается путем сортировки столбцов с необходимыми параметрами и ручным формированием новой таблицы. Финальная таблица служит источником визуального восприятия статистической информации.

Как сотруднику отдела мне была поставлена цель: оптимизировать процесс сбора и обработки статистической информации о количестве студентов выпускного курса для анализа количества освобождаемых койко-мест в общежитиях и подготовки данных мест для будущего заселения студентов первого курса. Информация должна быть представлена в табличном варианте и иметь визуально понятное оформление для предоставления итоговых сводок директору Департамента.

Для того чтобы достичь заданной цели, необходимо выполнить следующие задачи:

1) ознакомиться с функционалом и работой в системе «Общежитие»;

2) изучить текущую документацию и вид различной статистической информации, обрабатываемой рабочей системой;

3) ознакомиться с рабочим процессом сотрудника отдела, выявить ключевые виды необходимой статистической информации;

4) изучить существующие методы оптимизации работы со статистическими данными и предложить наилучший;

5) описать алгоритм работы сотрудника для получения необходимого результата;

6) опробовать выбранный метод на практике.

1. Методика работы сотрудника отдела

Первичные данные в нашем случае – это выгрузка Excel-таблицы из рабочей системы. Вид такой информации представлен на рис. 1. Здесь мы видим таблицу, состоящую из 10 столбцов и большого количества строк, количество которых зависит от количества иногородних и иностранных студентов выпускного курса в общежитиях вуза в текущий момент.

Критерии поиска: подразделение: Головной университет **общежитие**: Головной университет **статус студента**: Проживает **Год окончания**: 2026

N	ФИО	Институт	Общежитие	Комната	Тип квалификации	Пол	Гражданство	Район РТ	Год окончания
1		ИФМиБ(ВШМ)	ДУ 01.3	1105	специалист	м	Иностранный гражданин - дальнее зарубежье		2026
2		ИУЭиФ(ЦМ)	ДУ 04	410	магистр	м	Иностранный гражданин - дальнее зарубежье		2026
3		ИФМиБ(ВШМ)	ДУ 01.3	508	специалист	ж	Иностранный гражданин - дальнее зарубежье		2026
4		ИФМиБ(ВШМ)	ДУ 01.3	207	специалист	м	Иностранный гражданин - дальнее зарубежье		2026
5		ИМОИиВ(ВШВ)	СГ 10	106	магистр	ж	Иностранный гражданин - дальнее зарубежье		2026

Рис. 1 (а) Первая выгрузка информации из рабочей системы
о количестве студентов выпускного курса, проживающих в общежитиях

Помимо этого, существует категория студентов выпускного курса, которая находится в академическом отпуске. Для ознакомления со списком данных студентов делается вторая выгрузка (рис. 2):

Критерии поиска: подразделение: Головной университет **общежитие**: Головной университет **статус студента**: Проживает **академ.отпуск**: Академ.отпуск **Год окончания**: 2026

N	ФИО	Институт	Общежитие	Комната	Тип квалификации	Пол	Гражданство	Район РТ	Академ.отпуск	Год окончания
1		ИУЭиФ(ОРТ)	ДУ 04	705	бакалавр	м	Гражданин Российской Федерации		академ.отпуск с 04.12.2025 по 03.12.2026	2026
2		ИМОИиВ(ВШМОиМИ)	СГ 04	303	магистр	м	Гражданин Российской Федерации		академ.отпуск с 23.06.2025 по 22.06.2026	2026
3		ИМОИиВ(ВШВ)	ДУ 05.3	708	бакалавр	ж	Гражданин Российской Федерации		академ.отпуск (продлен) с 23.05.2025 по 24.10.2025	2026
4		ИВМиИТ	ДУ 03.1	1209	магистр	м	Гражданин Российской Федерации		академ.отпуск с 15.10.2025 по 14.10.2026	2026
5		ИМОИиВ(ВШМОиМИ)	ДУ 05.2	604	магистр	м	Гражданин Российской Федерации		академ.отпуск с 05.09.2025 по 04.09.2026	2026
6		ИМОИиВ(ВШВ)	СГ 04	544	бакалавр	ж	Гражданин Российской Федерации	Лаишевский р-н	академ.отпуск с 01.09.2025 по 31.08.2026	2026

Рис. 1 (б) Вторая выгрузка информации из рабочей системы
о количестве студентов выпускного курса, находящихся
в академическом отпуске, проживающих в общежитиях

Аналогично выгрузке подлежат списки аспирантов и аспирантов, находящихся в академическом отпуске. Всего необходимо выгрузить 4 файла Excel. Студенты в академическом отпуске дублируются в обоих файлах выгрузки, поэтому при ручной сортировке и фильтрации данных по столбцам в Excel необходимо выявить совпадения и не учитывать количество студентов в академическом отпуске в итоговой сумме выпускников.

Так как нам необходима полная картина, касающаяся всех общежитий и подразделений, мы выгружаем полные таблицы с начальной информацией с целью ускорить и облегчить процесс сортировки данных уже в выгруженном Excel-файле. Изначально информация о количестве студентов выпускного курса с разбивкой на институты и дома выглядит как набор строк с принадлежностью к определенному дому и подразделению. Для визуального восприятия такой вид информации не подходит. Именно поэтому нам необходимо провести анализ данных и обобщить их для просмотра в одной цельной таблице [2].

2. Сравнительный анализ нейронных сетей

Среди многочисленных методов оптимизации и ускорения работы со статистической информацией был выбран метод внедрения искусственного интеллекта. [3] После составле-

ния полного описания алгоритма подготовки отчета со статистической информацией с помощью сортировки данных было проведено обучение нейронной сети «Claude». [4] Преимущества данной нейросети представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ ИИ-инструментов

Критерий / нейросеть	**«Claude» (Anthropic)**	**«ChatGPT» (OpenAI)**	**«Алиса AI» (Яндекс)**	**«Perplexity» (Perplexity AI)**
Контекстное окно	200 000 токенов в чате.	128 000 токенов (стандарт).	Не раскрыто официально.	127 000 токенов.
Загрузка файлов Excel (.xlsx)	Поддерживается До 30 МБ; читает строки и столбцы. Очень большие файлы усекаются по контексту (200К токенов в чате).	Частичная. До 50 МБ. При большом числе строк контекст усекается аналогично «Claude».	Не поддерживается. Только DOC, DOCX, PDF, TXT.	Ненадёжно. CSV работает стабильно; XLSX – нет. Рекомендуется предварительная конвертация.
Статистические вычисления	Высокая точность.	Высокая точность.	Базовый уровень.	Высокая точность.
Создание графиков и диаграмм	Интерактивные HTML-артефакты. Chart.js, D3, Recharts в чате.	Статичные PNG.	Отсутствует. Только текстовые отчёты и таблицы в чате.	«Perplexity Labs» (только Pro). Дашборды и XLSX, ожидание около 10 мин; бесплатно недоступно.
Цветовые гаммы и стилизация по запросу	Выполняет запросы.	Частично.	Недоступно.	Игнорирует запрос на практике.
Возможности для обработки данных в бесплатной версии	Около 30–100 сообщений в день, создание артефактов, загрузка файлов, поиск. Модель – «Sonnet» (не максимальная).	3 файла в день; ограниченный доступ к «GPT-5.5. Code Interpreter» доступен частично.	«YandexGPT 5 Lite» – бесплатно. Модель без Excel, без выполнения кода.	Ограниченное число поисковых запросов, нет сложных вычислений.
Возможности бесплатной версии для выполнения текущей задачи	Частично. Небольшие Excel-файлы и цветные артефакты – да.	Частично. Разовые задачи – возможно, системная работа – нет.	Не подходит.	Не подходит. «Perplexity Labs» (визуализация) – только Pro версией.
Цена в месяц (в рублях) на май 2026 г.	Примерно 1 500 руб/мес («Claude Pro»).	Примерно 1 500 руб/мес («ChatGPT Plus»).	100 руб/мес («Алиса Про» через «Яндекс Плюс»).	Примерно 1 500 руб/мес («Perplexity Pro»).

3. Полученные результаты работы

В ходе практического использования нейронной сети были достигнуты следующие результаты:

1. Создан шаблон промпт-запроса, содержащий в себе все необходимые правила обработки информации, структуру создаваемого файла, структуру итоговых таблиц, цветовые решения.

2. Верно произведены все описанные вычисления, получен итоговый Excel-файл с 4 листами, которые представлены на рис. 2.

	Выпускники — Деревня Универсиады (ДУ) | 11.05.2026																								
	Общежитие																								
Институт	ДУ 01.1	ДУ 01.2	ДУ 01.3	ДУ 02	ДУ 03.1	ДУ 03.2	ДУ 04	ДУ 05.1	ДУ 05.2	ДУ 05.3	ДУ 06	ДУ 07	ДУ 08	ДУ 09	ДУ 10	ДУ 11	ДУ 12	ДУ 13	ДУ 14	ДУ 15	ДУ 16	ДУ 17	ДУ 18	ДУ 19	ДУ 20	ДУ 21	Всего
ИФМиБ	0	0	58	0	2	54	0	0	0	0	43	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	168
ИЭБиП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	21
ИГиНГТ	0	0	0	32	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	9	0	0	0	0	0	0	101
ИМОИиВ	0	0	0	0	0	0	0	0	51	91	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	63	0	252
ИМиМ	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
ИФ	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	57	0	0	0	0	71
ХИ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	55	0	0	59
ЮрФак	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	58	0	0	0	0	0	0	2	0	14	87
ИВМиИТ	0	0	0	0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85
ИФиМК	88	0	1	2	0	0	0	2	0	0	0	1	2	0	68	6	0	0	1	18	0	0	0	0	0	5	194
ИТИС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	47
ИСФНиМК	0	73	21	24	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127
ИУЭиФ	0	0	0	11	0	0	105	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	153
ИИРСИ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	22	0	0	24
ИПиО	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	55	0	0	0	0	0	62
ИДиПИ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	12
Аспиранты	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	10	6	0	0	0	0	3	11	0	0	0	0	0	0	45
Ординаторы	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подг.факультет для ИУ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	197	170	187	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
Всего	88	73	80	80	99	54	111	48	52	91	43	213	182	193	69	61	58	56	66	51	55	57	47	79	63	27	2096

Рис. 2 (а) Обработанная статистическая сводка с информацией о количестве студентов выпускного курса в общежитиях Деревни Универсиады с разбивкой на институты и дома (без учета студентов-выпускников, находящихся в академическом отпуске)

	Выпускники — Студенческий городок (СГ) | 11.05.2026											
	Общежитие											
Институт	СГ ОТ	СГ 01	СГ 02	СГ 03	СГ 04	СГ 05	СГ 06	СГ 07	СГ 08	СГ 09	СГ 10	Всего
ИФМиБ	0	29	0	3	0	0	0	0	28	0	1	61
ИЭБиП	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0	33
ИГиНГТ	0	0	0	0	0	0	60	0	0	2	0	62
ИМОИиВ	0	0	0	0	90	0	0	0	0	42	41	173
ИМиМ	0	0	0	0	4	0	7	0	0	9	0	20
ИФ	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	43
ХИ	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	15
ЮрФак	0	0	0	0	0	0	0	0	3	29	0	32
ИВМиИТ	0	0	0	0	9	0	0	0	0	37	2	48
ИФиМК	0	0	0	19	30	37	0	0	56	0	5	147
ИТИС	0	0	0	1	0	0	6	0	0	18	0	25
ИСФНиМК	0	0	0	22	0	0	0	0	1	1	0	24
ИУЭиФ	0	0	0	0	0	0	0	88	0	26	0	114
ИИРСИ	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	17
ИПиО	0	0	0	17	0	5	0	0	14	0	0	36
ИДиПИ	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	3	9
Аспиранты	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	8
Ординаторы	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Подг.факультет для ИУ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	0	29	0	80	133	96	123	88	102	164	52	867

Рис. 2 (б) Обработанная статистическая сводка с информацией о количестве студентов выпускного курса в общежитиях Студенческого городка с разбивкой на институты и дома

Выпускники — Деревня Универсиады (ДУ) | 11.05.2026					
	Гражданство				
Общежитие/ Гражданство	ДЗ	БЗ	РФ всего	из них РТ	Всего
ДУ 01.1	20	4	64	17	**88**
ДУ 01.2	9	2	62	8	**73**
ДУ 01.3	67	9	4	2	**80**
ДУ 02	10	9	61	6	**80**
ДУ 03.1	2	9	88	25	**99**
ДУ 03.2	13	4	37	9	**54**
ДУ 04	32	27	52	15	**111**
ДУ 05.1	0	3	45	11	**48**
ДУ 05.2	0	4	48	8	**52**
ДУ 05.3	5	7	79	11	**91**
ДУ 06	11	22	10	3	**43**
ДУ 07	211	0	2	1	**213**
ДУ 08	182	0	0	0	**182**
ДУ 09	193	0	0	0	**193**
ДУ 10	5	3	61	47	**69**
ДУ 11	6	9	46	7	**61**
ДУ 12	1	3	54	10	**58**
ДУ 13	12	5	39	9	**56**
ДУ 14	6	2	58	17	**66**
ДУ 15	12	3	36	16	**51**
ДУ 16	2	3	50	19	**55**
ДУ 17	6	0	51	12	**57**
ДУ 18	8	1	38	11	**47**
ДУ 19	6	0	73	13	**79**
ДУ 20	14	7	42	6	**63**
ДУ 21	6	10	11	1	**27**
Всего	**839**	**146**	**1111**	**284**	**2096**

Рис. 2 (в) Обработанная статистическая сводка с информацией о количестве студентов выпускного курса в общежитиях Деревни Универсиады с разбивкой на дома и гражданство (без учета студентов-выпускников, находящихся в академическом отпуске)

Выпускники — Студенческий городок (СГ) | 11.05.2026					
	Гражданство				
Общежитие/ Гражданство	ДЗ	БЗ	РФ всего	из них РТ	Всего
СГ ОТ	0	0	0	0	**0**
СГ 01	2	4	23	2	**29**
СГ 02	0	0	0	0	**0**
СГ 03	3	25	52	12	**80**
СГ 04	30	55	48	9	**133**
СГ 05	18	31	47	9	**96**
СГ 06	36	11	76	24	**123**
СГ 07	25	24	39	6	**88**
СГ 08	8	24	70	27	**102**
СГ 09	6	13	145	46	**164**
СГ 10	21	10	21	1	**52**
Всего	**149**	**197**	**521**	**136**	**867**

Рис. 2 (г) Обработанная статистическая сводка с информацией о количестве студентов выпускного курса в общежитиях Студенческого городка с разбивкой на дома и гражданство (без учета студентов-выпускников, находящихся в академическом отпуске)

Все результаты корректны и совпадают с результатами ручной обработки информации.

3. Подготовлен алгоритм работы сотрудника отдела в виде блок-схемы, представленной на рис. 3 [5].

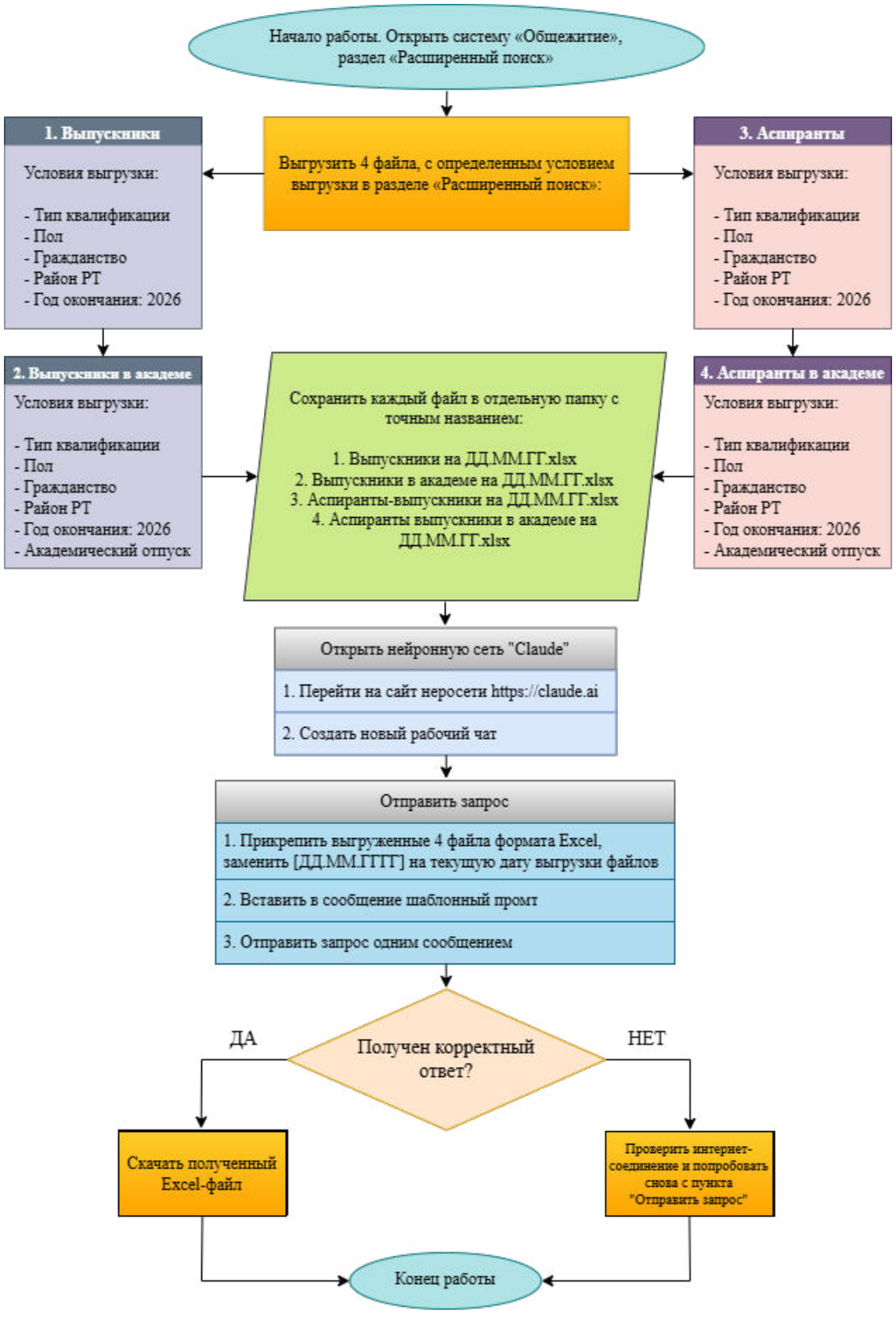


Рис. 3. Алгоритм работы сотрудника отдела в виде блок-схемы

4. Сокращено количество затрачиваемого времени на обработку статистической информации с 1,5 часов до 5 минут, что является экономически эффективным результатом.

Таким образом, была достигнута поставленная цель – осуществлен сбор и анализ статистической информации о количестве студентов выпускного курса с использованием современных методов оптимизации процесса, а именно, анализа статистических данных с помощью искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Савина, Д. В. Разработка системы обработки данных на основе технологий Microsoft Excel для отдела организации заселения в общежития университета / Д. В. Савина // Лучшие практики общего и дополнительного образования по естественно-научным и техническим дисциплинам : Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАН К.А. Валиева, Елабуга, 23 января 2026 года. – Казань: Казанский федеральный университет, 2026. – С. 507-514. – EDN ROYWQF.

2. Савина, Д. В. Применение технологий искусственного интеллекта в управлении молодежной политикой университета / Д. В. Савина // Материалы IV Всероссийской молодежной научной конференции (с международным участием) «Информационные технологии в высокотехнологичных производствах (ВТП)», Санкт-Петербург, 12-13 марта 2026 года. – Казань: Казанский федеральный университет, 2026.

3. Шихалёв, А. М. Многокритериальные задачи принятия решений в управлении качеством: учебное пособие/ А. М. Шихалёв, И. И. Хафизов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2020. – 92 с.

4. Нейронная сеть «Claude» [Электронный ресурс]. – URL: https://claude.ai/ (дата обращения: 05.05.2026).

5. Медиа Т-Банка «Claude: как пользоваться нейросетью, что она делает и как работает» [Электронный ресурс]. – URL: https://t-j.ru/how-to-use-claude/?utm_referrer= https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 16.04.2026).

УДК 004.89:004.93'1:371.26

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ЗАДАНИЙ С РАЗВЁРНУТЫМ ОТВЕТОМ ЕГЭ ПО ПРОФИЛЬНОЙ МАТЕМАТИКЕ И ПОСТРОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Сайфуллин Р.А., студент;
ORCID: 0009-0001-1526-7782;
E-mail: doooh.rustam@gmail.com;
Муллагалиев Д.Р., студент;
ORCID: 0009-0003-8347-4550;
E-mail: mullagalievdeniz@yandex.ru;
Шиндор О.В., к.т.н, доцент, заместитель директора по научной деятельности ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии, кафедра робототехники и искусственного интеллекта, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-6476-8789;
E-mail: OVShindor@kpfu.ru

A MULTI-AGENT SYSTEM FOR AUTOMATED ASSESSMENT OF CONSTRUCTED-RESPONSE MATHEMATICS EXAM TASKS AND PERSONALIZED LEARNING PATH GENERATION

Sayfullin R.A., student;
ORCID: 0009-0001-1526-7782;
E-mail: doooh.rustam@gmail.com;
Mullagaliev D.R., student;
ORCID: 0009-0003-8347-4550;
E-mail: mullagalievdeniz@yandex.ru;
Shindor O.V., PhD, Associate Professor, Deputy Director for Research, Kazan Federal University, Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-6476-8789;
E-mail: OVShindor@kpfu.ru

Аннотация

Проверка заданий с развёрнутым ответом (№ 13–19) ЕГЭ по профильной математике выполняется экспертами предметных комиссий и требует значительных трудозатрат: работа проверяется двумя экспертами независимо, а при существенном расхождении баллов назначается третья проверка. В ходе данной работы была разработана система автоматизированной проверки заданий ЕГЭ по профильной математике на базе технологий искусственного интеллекта. Архитектура включает три подсистемы: гибридный модуль распознавания, где результат оптического распознавания символов (OCR) служит контекстом, а решение принимает визуально-языковая модель (VLM) непосредственно по изображению скана, сохраняя чертежи и структуру формул; мультиагентную подсистему, где три агента с разными температурами генерации независимо выставляют баллы, после чего агент-судья выносит итоговое решение; генератор траектории подготовки к ЕГЭ, строящий по ошибкам понедельный план подготовки. Обосновано, что доля точных совпадений баллов с экспертом недостаточна как метрика качества, и предложен протокол из трёх показателей: взвешенный коэффициент каппа Коэна с квадратичными весами, доля существенных расхождений оценок и доля обоснованных вердиктов. Было проведено пилотное тестирование на 15 реальных работах (105 заданий), которое показало совпадение с экспертом в 78,1% случаев, расхождение не более одного балла в 89,5% случаев; взвешенная каппа Коэна составила 0,8. Для практического использования предложен гибридный формат проверки, при котором автоматическая оценка сочетается с перепроверкой экспертом около 20% работ, что существенно снижает нагрузку на проверяющих без потери качества оценивания.

Ключевые слова: Единый государственный экзамен, автоматизированная проверка, мультиагентные системы, большие языковые модели, визуально-языковые модели, распознавание рукописного текста, образовательная траектория, коэффициент каппа Коэна

Abstract

Constructed-response tasks (№ 13–19) of the Russian Unified State Exam (USE) in advanced mathematics are graded by subject-commission experts and demand substantial effort: each paper is scored independently by two experts, with a third review when scores diverge substantially. This study develops «Everest», a system that automates the grading of handwritten solutions and closes the loop from assessment to remediation by generating a personalized study plan. The architecture has three subsystems: a hybrid recognition module in which Optical Character Recognition (OCR) output serves as context while a Vision-Language Model (VLM) decides directly from the scan image, preserving diagrams and formula structure; a multi-agent subsystem in which three agents with different generation temperatures independently score the work and a judge agent issues the final verdict; and

a learning-path generator that turns detected errors into a week-by-week plan. We argue that exact-match agreement with an expert is insufficient, and propose a protocol based on weighted kappa and the substantial-discrepancy rule of subject commissions. Pilot testing on 15 real examination papers (105 tasks) demonstrated exact agreement with expert scores in 78.1% of cases and a discrepancy of no more than one point in 89.5% of cases, with the weighted Cohen's kappa amounting to 0.8. For practical use, a hybrid grading format is proposed, in which automated assessment is combined with expert rechecking of about 20% of papers, substantially reducing the workload of graders without compromising the quality of assessment. The comparative effectiveness of automated versus expert grading is discussed. Limitations are described, including correlated errors among agents from a single model. The system is a containerized web service for student self-study, internal diagnostic assessment, and expert support, not a replacement for the official grading procedure.

Keywords: Unified State Exam, automated assessment, multi-agent systems, large language models, LLM-as-a-judge, vision-language models, handwriting recognition, learning path, inter-rater agreement, kappa coefficient

Введение

Задания части 2 ЕГЭ по профильной математике (№ 13–19, максимум 20 первичных баллов) требуют развёрнутой записи решения и проверяются не по итоговому ответу, а по ходу решения. Действующий порядок аттестации предусматривает независимую проверку двумя экспертами; при существенном расхождении баллов назначается третья проверка [1]. Существенным считается расхождение в 2 и более балла за задание [2].

Существующие массовые сервисы закрывают эту потребность лишь частично: открытые банки заданий проверяют только итоговый ответ, а платформы онлайн-школ принимают решение в текстовом виде и возвращают проверку живому преподавателю. Другие системы предлагают проверку промежуточных шагов, однако не воспроизводят логику эксперта ФИПИ при выставлении баллов: в реальной проверке эксперт может поставить частичный балл за верный ход решения, даже если в конце допущена ошибка или получен неверный ответ.

Таким образом, задача автоматизированной проверки части 2 ЕГЭ по профильной математике остаётся нерешённой. Целью настоящей работы является разработка системы «Эверест», которая по фотографиям рукописной работы проверяет задания, проводит разбор ошибок и на его основе предлагает персональную траекторию подготовки.

Методика

«Эверест» реализован как многоуровневая архитектура, в которой обработка работы проходит пять последовательных этапов, и каждый выполняется отдельной подсистемой (рис. 1).

На первом этапе работы системы пользователь загружает сканы или фотографии с решениями заданий, затем на втором этапе система предобрабатывает изображения и подготавливает их к анализу. На третьем этапе система производит распознавание текста с изображений гибридным способом с помощью OCR и VLM и сохраняет извлеченный текст.

Затем на четвертом этапе производится проверка решений с помощью мультиагентной системы и на пятом этапе пользователь получает результат проверки с разбором решений, а также система на основе анализа допущенных ошибок составляет план подготовки к ЕГЭ.

1. Гибридный модуль распознавания

Входными данными являются фотографии в форматах PNG, JPEG или PDF-файлы со сканами работы. Модуль позволяет загрузить до 5 файлов на задание. Перед распознаванием рукописного текста модуль производит предобработку всех изображений с помощью библиотеки OpenCV. Предобработка включает 3 этапа:

1. Выравнивание листа по минимальному охватывающему прямоугольнику бинаризованного изображения с поворотом при отклонении более 0,5 градусов;

2. Локальное контрастирование методом адаптивной эквализации гистограмм (CLAHE), что важно при неравномерном освещении;

3. Удаление тетрадной линовки, при котором горизонтальные линии выделяются морфологическим фильтром и закрашиваются инпейнтингом, так что рукописный след сохраняется, а разлиновка исчезает.

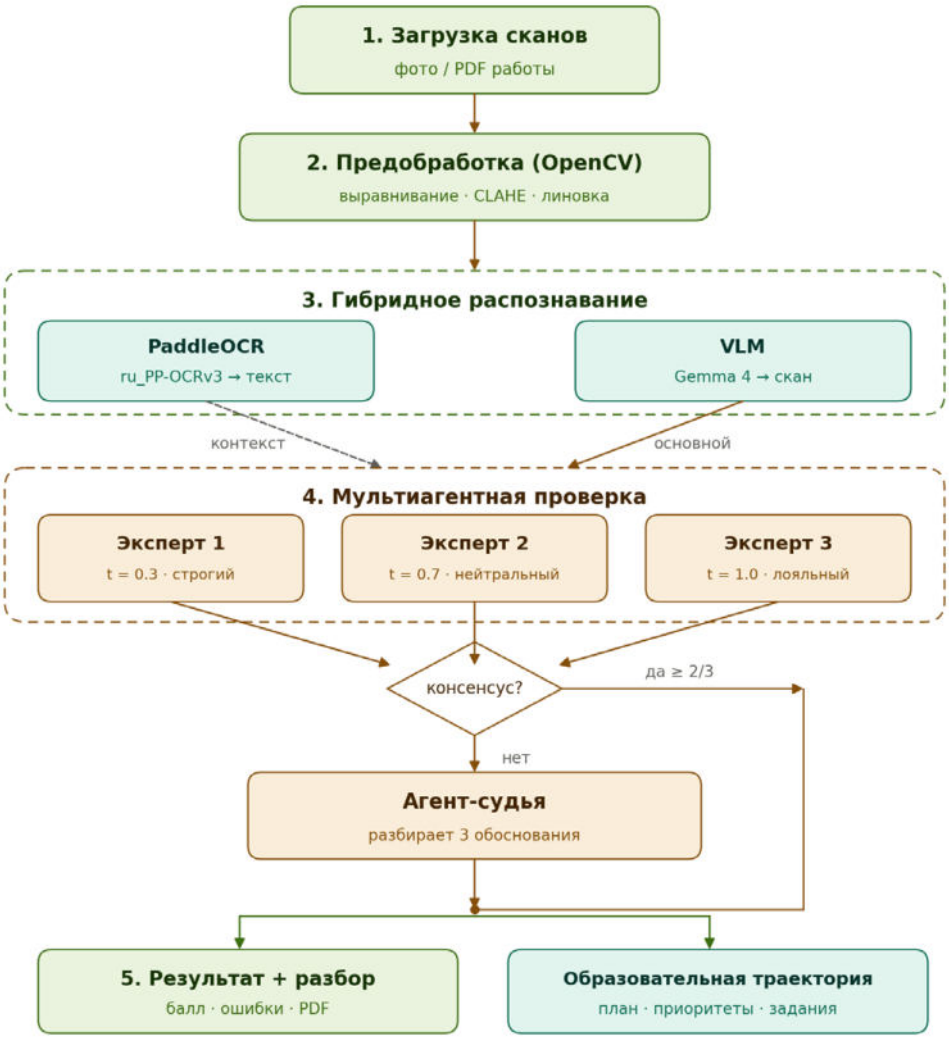


Рис. 1. Архитектура системы «Эверест»

Распознавание выполняется двумя независимыми путями. Первый – OCR на базе модели PaddleOCR с поддержкой русского языка [3]. Модель загружается и инициализируется однократно при старте сервиса, так как её загрузка занимает время и память, и используется локально.

Второй – анализ изображений с помощью визуальной языковой модели (VLM) Gemma 4 26B. Для сохранения контекста, если решение задания включает несколько страниц, все страницы решения объединяются в одно изображение. Перед подачей изображений в VLM ширина изображений масштабируется до 1280 пикселей.

Принципиальным решением является отказ от распознавания исключительно с помощью OCR как основного решения. Классический OCR извлекает текст в виде линейных строк и теряет то, что определяет математический смысл: границы дроби, показатель степени, подкоренное выражение, а также чертежи к планиметрическим и стереометрическим задачам. Поэтому распознанный OCR моделью текст передаётся агентам лишь как вспомогательный контекст, а итоговое суждение выносится по изображению на основе анализа, проведенного

VLM. Для этого в промпт агентов включено явное правило доверять скану больше распознанного текста. Сбой распознавания отдельной страницы не прерывает обработку.

2. Мультиагентная подсистема оценивания

Одна языковая модель при проверке математического решения может ошибаться, причём ошибка может быть не всегда воспроизводима. Однако многократная генерация ответов с различными гиперпараметрами и последующим согласованием повышает надёжность рассуждения языковой модели [4]. Мы применяем эту идею к оцениванию, опираясь и на организационную аналогию проверки ЕГЭ. Работу параллельно проверяют три детерминированных агента-эксперта, а расхождения разрешает агент-судья, что повторяет схему двух проверок с третьим экспертом.

Агенты имеют одинаковые системные промпты, но различаются гиперпараметром – температурой генерации (0,3; 0,7; 1,0), что даёт разные степени строгости проверки: агент с температурой 0,3 особенно придирчивый и склонен к буквальному следованию критериям, агент с температурой 0,7 более «творческий» и признает нестандартные ходы решения, агент с температурой 1,0 более лояльный. Все три агента запускаются параллельно, поэтому задержка определяется самым медленным из них. Каждый возвращает структурированный ответ: балл, обоснование, найденные ошибки, верные шаги и субъективную уверенность.

Агрегация построена по правилу раннего выхода: если все три агента выставили одинаковый балл либо совпали двое из трёх, принимается согласованный балл, а судья вызывается только при трёх различных баллах, получая все три обоснования. Для судьи может быть использована более сильная языковая модель, которая задается в конфигурационном файле. Для экономии вычислительного бюджета система ограничивает число обращений к модели величиной не более 28 на сессию из семи заданий, а при типичном согласии агентов фактическое число вызовов заметно ниже. На проверку одной работы с 13-го по 19-задание в среднем делается 22 обращения к модели, а тратится 45 000 входных и 16 000 выходных токенов.

Критерии оценивания каждого задания заданы в системном промпте и воспроизводят логику официального кодификатора ЕГЭ: что проверяется на каждом этапе, какие ошибки снижают балл, что засчитывается при нестандартном методе. Последнее существенно: методические материалы прямо указывают, что полнота и обоснованность рассуждений оцениваются независимо от выбранного метода, а оценивается продвижение экзаменуемого, а не следование эталонному решению [2]. Это требование внесено в системные промпты каждого агента как запрет снижать балл за отклонение от типового способа записи. Кроме того, если загруженная работа не соответствует типу задания (например, решение задания 18 отправлено как задание 13), система не выставляет балл, а сообщает о несоответствии.

3. Генератор образовательной траектории

Оценка сама по себе не улучшает результат учащегося, поэтому подсистема траектории позволяет дать ученику максимально подробную обратную связь в виде пошагового плана по подготовке к ЕГЭ, построенного на основе ошибок, допущенных учеником. На вход подаётся полный срез сессии: баллы, ошибки и верные шаги по каждому заданию. Модель формирует план: диагностику уровня, разделение тем на сильные и слабые, понедельный график с автоматическим расчётом оставшегося до экзамена времени и детализацию по заданиям – приоритет темы, проблемные места, ключевую теорию и практические задачи с подсказкой и разбором.

Существенно, что план строится не по номеру задания, а по типу ошибки. Вердикты агентов содержат перечни ошибок и верных шагов, что позволяет свести разбор к устойчивой таксономии: вычислительные ошибки; ошибки тождественных преобразований; нарушения ОДЗ и потеря корней; дефекты обоснования; ошибки отбора корней; неверный выбор метода. Разделение важно потому, что одинаковое снижение балла порождает разные рекомендации: потеря граничной точки требует отработки технического приёма, а систематический дефект обоснования в стереометрии – возврата к формулировкам признаков перпендикулярности.

Приоритет тем определяется не только их слабостью. Ранжирование выполняется по ожидаемому приросту первичного балла: для каждого задания оценивается разность между

максимальным и полученным баллом, взвешенная частотой соответствующего типа ошибки и оставшимся до экзамена временем. Такой порядок отличается от интуитивного «подтягивать самое слабое»: задание 19 при нулевом результате даёт больший потенциальный прирост, но требует несопоставимо большего времени, тогда как устранение дефектов обоснования в заданиях 14 и 17 возвращает баллы быстрее. Поэтому план смещён к темам с высоким отношением прироста к трудозатратам.

Траектория кэшируется в базе данных и пересобирается после каждой новой проверки работ, отражая динамику подготовки, а не единичный срез.

4. Методика оценки качества системы

Отдельным результатом работы мы считаем протокол измерения качества, поскольку выбор метрики определяет обоснованность выводов. Чаще всего в подобных работах приводят долю точных совпадений итогового балла с оценкой эксперта. Эта метрика недостаточна: она не отделяет осмысленное согласие от случайного (при баллах, смещённых к нулю или максимуму, высокий процент совпадений даёт даже примитивная стратегия) и одинаково наказывает промах в один балл и промах в три, тогда как для экзамена это события совершенно разного веса.

Поэтому предлагается протокол из трёх метрик (таблица 1). Базовой является взвешенный коэффициент каппа Коэна с квадратичными весами, корректирующий согласие на случайность и учитывающий величину расхождения [5]. Ключевая прикладная метрика – доля существенных расхождений по правилу предметных комиссий: расхождение существенно, если оценки отличаются на 2 и более балла за задание либо на 3 и более в сумме за задания 13–19 [2]. Ориентиром служит не стопроцентное совпадение, а сопоставимость расхождения «система – эксперт» с расхождением «эксперт – эксперт». Третья метрика оценивает качество разбора: доля вердиктов, в которых указанная ошибка признана экспертом действительно допущенной.

Таблица 1

Протокол оценивания качества системы

Метрика	Что измеряет	Ориентир
Взвешенная каппа (квадратичные веса)	Согласие с экспертом с поправкой на случайность и величину расхождения	Уровень согласия двух экспертов
Доля существенных расхождений	Частота событий, требующих третьей проверки по регламенту	Не выше, чем у пары экспертов
Доля обоснованных вердиктов	Соответствие указанных ошибок реально допущенным	Экспертная разметка

5. Реализация, тестирование и результаты

Серверная часть написана на Python с асинхронным веб-фреймворком FastAPI, что позволяет обрабатывать несколько работ одновременно. Результаты проверки и планы траекторий хранятся в реляционной СУБД PostgreSQL в формате JSON. Доступ к ИИ-моделям осуществляется через OpenAI-совместимый REST-шлюз, что позволяет использовать как облачную модель, так и модель, развернутую локально в закрытом контуре. В пилотной версии для всех агентов и генерации траектории подготовки была использована VLM модель Gemma 4 26B A4B.

Клиентская часть – одностраничное веб-приложение, написанное с помощью фреймворка React. Ученик открывает сессию, видит семь карточек заданий и загружает в каждую сканы перетаскиванием. По ходу обработки карточка меняет статус: распознавание, работа

агентов, итоговый балл. Вердикты приходят через веб-сокеты, поэтому оценки трёх экспертов появляются по очереди, а не одномоментно. Нажатие на карточку раскрывает подробный разбор – обоснование судьи и оценки каждого агента с перечнем ошибок; сводку можно выгрузить в PDF. Общая структура реализации показана на рисунке 2: клиент, сервер и база данных вынесены в отдельные слои, а приложение упаковано в Docker-контейнеры и запускается одной командой, что упрощает развёртывание и делает результаты воспроизводимыми.

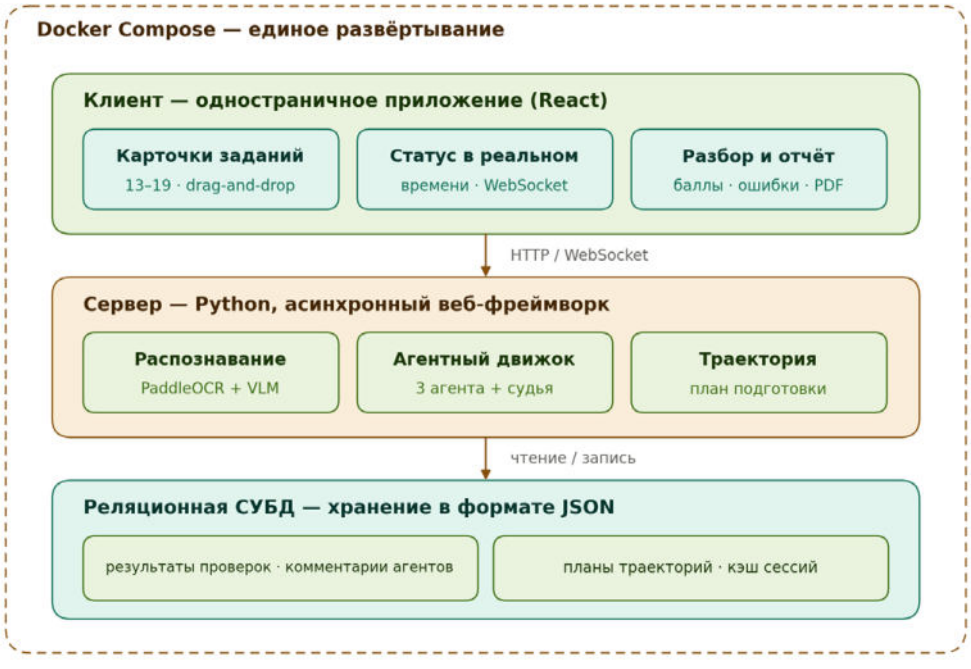


Рис. 2. Слои реализации системы и их развёртывание в контейнерах

Репозиторий с исходным кодом системы доступен на платформе GitHub: https://github.com/qxdeniz/VRIS_FinalProject_EgeCheckAIAgent

Для пилотной проверки качества в систему был загружен набор из 15 реальных рукописных работ ЕГЭ по заданиям 13–19, каждая из которых предварительно была оценена экспертом. Суммарно было проверено 105 заданий. Результаты тестирования представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты пилотного тестирования

Задание	Совпадение с экспертом, ±0 б	Расхождение не более 1 балла, ±1 б	Существенное расхождение, ≥2 б
№ 13, тригонометрическое уравнение	87%	97%	13% (2/15)
№ 14, стереометрия	73%	87%	27% (4/15)
№ 15, неравенство	87%	93%	13% (2/15)
№ 16, финансовая задача	67%	80%	33% (5/15)
№ 17, планиметрия	80%	93%	20% (3/15)
№ 18, задача с параметром	73%	87%	27% (4/15)
№ 19, олимпиадная задача	80%	93%	20% (3/15)
Итог	78,1	89,5%	21,9%

В 78,1% случаев оценка системы совпала с оценкой эксперта, в 89,5% случаев разница между оценкой эксперта и оценкой системы составляла от 0 до 1 балла. Существенные расхождения между оценками – от 2 и более баллов – были отмечены при проверке 21,9% заданий. Это значит, что каждая пятая работа требует перепроверки экспертом.

На основе этого был рассчитан коэффициент каппа Коэна, описанный в разделе 4, – он составил 0,8. Высокое значение каппа Коэна подтверждает надежность системы. Учитывая, что расхождение в 1 балл в рамках данной шкалы считается допустимой погрешностью, не влияющей на итоговую категорию работы, доля обоснованных вердиктов системы составляет 89,5%.

Таким образом, гибридный формат проверки – автоматическая оценка с передачей 20% спорных работ эксперту позволяет существенно сократить нагрузку на проверяющих, сохраняя при этом высокое качество и объективность итоговой оценки.

6. Сравнительная эффективность автоматической и экспертной проверки

Отдельного обсуждения заслуживает вопрос, что полезнее для учащегося при подготовке к ЕГЭ: проверка живым преподавателем или системой «Эверест». Прямое противопоставление некорректно, поскольку у подходов разные сильные стороны, и в подготовке они дополняют друг друга.

Преимущество преподавателя – надёжность суждения на сложных, нестандартных решениях: как показало тестирование, именно на заданиях с многоэтапным рассуждением (параметр, планиметрия) автоматическая оценка может расходиться с экспертной. Кроме того, преподаватель объясняет материал, отвечает на встречный вопрос и мотивирует ученика, чего система не заменяет.

Преимущество системы – доступность и скорость обратной связи. «Эверест» доступен круглосуточно, проверяет работу за минуты и не зависит от загруженности проверяющего, тогда как доступ к эксперту ограничен и, как правило, платен. Для массовой самоподготовки это принципиально: ученик может проверить неограниченное число работ и сразу получить разбор ошибок с планом отработки, а на типовых заданиях согласие системы с экспертом в пилотном тестировании оказалось высоким.

Таким образом, наибольшую пользу учащемуся приносит сочетание реального преподавателя и ИИ-системы. Система обеспечивает частую и быструю обратную связь при регулярной тренировке и формирует персональную траекторию, а эксперт подключается на решающих этапах и для разбора наиболее сложных заданий.

Заключение

В работе представлена система «Эверест», решающая задачу автоматизированной проверки заданий 13–19 ЕГЭ по профильной математике по фотографиям рукописных решений с выставлением балла по официальным критериям, разбором допущенных ошибок и построением на его основе персональной траектории подготовки.

Поставленная цель была достигнута, разработанная система прошла пилотную проверку на 15 реальных работах. Тестирование на 15 реальных рукописных работах (105 заданий) показало, что точное совпадение с оценкой эксперта достигается в 78,1% случаев, в 89,5% случаев расхождение не превышает одного балла, а взвешенная каппа Коэна составила 0,8, что соответствует высокому уровню согласованности с реальной проверкой эксперта. Существенные расхождения в 21,9% случаях концентрируются в заданиях с многоэтапным рассуждением – финансовой задаче, стереометрии и задаче с параметром. Отсюда следует практический вывод: для практического использования системы оптимальным является гибридный формат, в котором система берёт на себя основной поток проверки, а эксперт перепроверяет примерно каждую пятую работу.

В дальнейшем планируется переход к оркестрации агентов на разных языковых моделях вместо трёх копий одной модели. Также арифметические и алгебраические ошибки предполагается проверять внешним вызовом модуля компьютерной алгебры SymPy [6]. Также предстоит определить и отрегулировать порог уверенности агентов, при котором спорные ра-

боты будут передаваться на перепроверку человеку и собрать более широкий корпус решений с двойной разметкой экспертами для полной валидации качества оценивания.

Список литературы

1. Об утверждении Порядка проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам среднего общего образования : приказ Министерства просвещения Российской Федерации и Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки от 04.04.2023 № 233/552. – Зарегистрирован Минюстом России 15.05.2023 № 73314.

2. Ященко И. В. Методические материалы для председателей и членов предметных комиссий субъектов Российской Федерации по проверке выполнения заданий с развёрнутым ответом экзаменационных работ ЕГЭ 2026 года. Математика / И. В. Ященко, П. И. Самсонов, А. В. Семенов, А. С. Трепалин, М.А. Черняева. – Москва : ФИПИ, 2026. – 259 с.

3. Du Y., Li C., Guo R. [et al.] PP-OCR: A Practical Ultra Lightweight OCR System // arXiv preprint. – 2020. – URL: https://arxiv.org/abs/2009.09941 (дата обращения: 22.08.2026). – Текст : электронный.

4. Wang X., Wei J., Schuurmans D. [et al.] Self-Consistency Improves Chain of Thought Reasoning in Language Models // Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR). – 2023. – URL: https://arxiv.org/abs/2203.11171 (дата обращения: 23.08.2026). – Текст : электронный.

5. McHugh M. L. Interrater reliability: the kappa statistic // Biochemia Medica. – 2012. – Vol. 22, № 3. – P. 276–282. – URL: https://www.biochemia-medica.com/2012/22/3/276 (дата обращения: 25.08.2026). – Текст : электронный.

6. Meurer A., Smith C. P., Paprocki M. [et al.] SymPy: symbolic computing in Python // PeerJ Computer Science. – 2017. – Vol. 3. – Art. e103. – URL: https://peerj.com/articles/cs-103/ (дата обращения: 25.08.2026). – Текст : электронный.

УДК 631.151

DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR STUDENTS' POINT RATING

Salakhov M.N., PhD, Associate Professor, Kazan State Agrarian University, Kazan;
ORCID: 0009-0000-1001-1625;
Salakhov I.M., student, National Research Nuclear University «Moscow Engineering Physics Institute», Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0002-0964-4964

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ БАЛЛЬНОГО РЕЙТИНГА СТУДЕНТОВ

Салахов М.Н., к.п.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань;
ORCID: 0009-0000-1001-1625;
Салахов И.М., студент Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт», г. Москва, Россия;
ORCID: 0009-0002-0964-4964

Abstract

This paper presents the functionality of a Telegram bot designed to optimize the organization of learning and increase interactivity in the classroom. Beyond standard functions for recording

attendance and academic performance, the study thoroughly examines tools for pedagogical feedback. These include systems for conducting instant polls during lectures and a psychological diagnostics module that contributes to the cohesion of student groups. Special attention is paid to data confidentiality protection algorithms and the ability to flexibly customize the parameters of educational events to meet specific instructor needs.

Keywords: performance tracking, educational environment, Telegram platform, online polling, psychological assessment, group cohesion, point-rating system, chatbot

Аннотация

В настоящем исследовании представлен функционал Telegram-бота, созданного с целью оптимизации организации обучения и повышения интерактивности на занятиях. Помимо стандартных функций фиксации посещаемости и академической успеваемости, в работе подробно рассматриваются инструменты педагогической обратной связи. Среди них выделяются системы для проведения мгновенных опросов в ходе лекционных занятий, а также модуль психологической диагностики, способствующий сплочению студенческих коллективов. Отдельное внимание уделено алгоритмам защиты конфиденциальной информации и возможностям гибкой настройки параметров учебных мероприятий под нужды преподавателя.

Ключевые слова: мониторинг успеваемости, образовательная среда, Telegram-платформа, онлайн-опросы, психологическая диагностика, сплочение студенческой группы, балльно-рейтинговая система, чат-бот

Contemporary information technologies present significant opportunities for enhancing educational practices. Traditional paper documentation is increasingly being replaced by digital solutions for monitoring academic progress. In the past, initial digitization efforts relied on unwieldy Excel files and required instructors to transport heavy laptops. Currently, however, teachers can leverage smartphones to swiftly modify student grades in various settings–including lectures, labs, fieldwork, or remote sessions. This is achieved through intuitive touch-based interfaces rather than manual data entry [1].

Nevertheless, today's academic landscape requires more than mere passive data logging; it necessitates active learner involvement and efficient cohort administration. As a result, the mobile application initially created by the authors has advanced considerably, evolving from a basic electronic gradebook into a holistic platform for educational interaction [2].

The revised iteration of the software introduces several innovative capabilities. Primarily, a role-based access control and secure authentication framework was integrated to safeguard personal information and academic records. Furthermore, an interactive polling feature for lectures enables teachers to pose verbal questions and gather immediate written answers from the entire class via mobile devices, significantly increasing student participation. Finally, a psychological assessment module was incorporated; its outcomes facilitate the optimal distribution of students into collaborative teams, promoting group cohesion and minimizing interpersonal friction.

The primary objective of this paper is to detail the enhanced functionalities of the Telegram bot [3], demonstrating the transition from elementary data tracking to the proactive administration of both the learning process and the student cohort.

System Architecture and Security Measures. The modernized application utilizes a role-based architecture that differentiates between educators and learners, requiring a reliable authorization mechanism. To secure personal and academic data, strong password encryption is applied. During the registration process, an instructor's password is saved in the database using a one-way cryptographic hashing algorithm. This ensures that the original credentials cannot be retrieved, thereby protecting the data even if the server is breached. Additionally, a secure session termination (logout) function is provided, which is crucial for maintaining privacy on shared devices.

Conversely, students have the ability to self-register by inputting their full names and choosing their respective academic groups from a dropdown menu. This functionality shifts their role from passive entities in a grading system to active contributors in an engaging educational environment.

Adaptive Customization of the Educational Process. Unlike earlier iterations that depended on rigid, predefined activity categories, the current version empowers educators to tailor the learning experience dynamically. The configuration menu features a custom event builder, allowing instructors to define unique titles for new activities (e.g., specific practical tasks or seminars), establish maximum point limits, and select a grading methodology. The system supports two evaluation modes: a fixed scale (selecting from predefined values, such as 1, 2, or 3 points) and a custom scale (inputting arbitrary numerical scores via an integrated keypad).

Furthermore, administrative functions have been broadened. Instructors are now capable of not only creating new student cohorts but also permanently deleting them from the platform. Upon the removal of a group, the system automatically and securely purges all linked student profiles and academic records, thereby preventing the buildup of redundant information.

Psychological Assessment and Student Group Formation. The latest iteration of the application incorporates a psychological evaluation module aimed at a concrete educational objective: building strong interpersonal relationships among students. The assessment consists of a four-stage process where participants choose from visually presented alternatives at each step. Determining the psychological profile (psychotype) of each participant allows educators to better comprehend individual behavioral characteristics. This data is subsequently utilized to deliberately construct balanced small groups for future collaborative assignments. Distributing learners into teams according to their psychological profiles ensures a harmonious group dynamic, reduces the likelihood of interpersonal disputes, and strengthens collective unity–all essential elements for productive teamwork. Furthermore, the assessment procedure is highly optimized; the chatbot preloads and caches graphical elements, ensuring immediate display, preventing loading lags, and conserving mobile data.

Real-Time Interactive Polling During Lectures. A live survey mechanism has been introduced as a novel instrument for gathering feedback. The operational logic of this feature significantly alters the traditional classroom environment: the teacher verbally presents a query to the audience, and learners utilize their mobile devices to formulate and send text-based responses through the bot. Educators retain absolute authority over the timeframe. After the designated period for contemplation and response concludes, the teacher terminates the input phase with a single click. The platform automatically discards any submissions received post-deadline, which guarantees equitable conditions and encourages academic discipline. This methodology ensures the involvement of the entire class, extending participation beyond the typically vocal students. Consequently, the teacher receives an instantaneous overview of the cohort's comprehension level, enabling prompt modifications to the lecture's trajectory.

Automated Attendance Monitoring and Enhanced Analytics. The implementation of live polling has facilitated a novel approach to monitoring student presence. The system operates on a straightforward principle: the successful completion of a single interactive survey is automatically registered as one attendance credit. This mechanism incentivizes learners not only to attend classes physically but also to engage proactively, apply critical thinking, and generate original responses. Furthermore, analytical functionalities have been significantly broadened. Alongside conventional academic progress graphs, educators can now export the outcomes of the cohort's psychological evaluations into Excel spreadsheets. They are also able to retrieve comprehensive logs of the text-based answers provided during live polls, which include precise timestamps for every submission.

Group Registration. The procedure begins with the educator accessing the Telegram interface and choosing the "Add group" command. Following this, a plain text document containing the student roster must be uploaded. The required format dictates that each learner's last name and first name are placed on separate lines, a structure that can be easily generated on both desktop and mobile

platforms. The chatbot then parses the document and populates the group's database with the listed individuals. This automated workflow facilitates the swift setup of cohorts of any size.

Event Creation. Establishing an event is a crucial component for structuring and evaluating student engagement. An event represents a specific academic activity–such as a seminar, practical class, or examination–where assessment occurs. The educator initiates the creation sequence via the bot's main menu, after which the system requests the selection of an activity category from a predefined set, including options such as coursework, presentation, test, or summary. The user then specifies the date of the activity; to streamline this step, a "Today" shortcut is provided, which automatically inserts the current calendar date. Upon successful input of both the category and date, the platform logs the event into the database, ensuring that all activities are archived for future tracking and evaluation.

Score Assignment. The grading procedure follows a clearly structured sequence. The teacher first taps the "Assign Grade" command to begin evaluating a specific learner, after which the system displays all available groups and the instructor selects the relevant cohort containing the target student. To optimize navigation and conserve screen real estate, the interface then requires the selection of a "squad"–a sub-unit of four students. This structural choice simultaneously promotes healthy intra-squad competition and teamwork, thereby increasing academic motivation. The educator then identifies the exact student and the corresponding academic event to be assessed. Instead of typing on a cramped mobile keyboard, the bot presents a set of interactive buttons for score selection, ensuring a rapid and intuitive user experience. Upon confirmation, the system saves the score by linking it to the specific student and event record, making it available for subsequent performance analysis.

Attendance Tracking. The mechanism for logging student presence is organized into a coherent workflow. The instructor begins by selecting the "Record Attendance" function, which activates the roll-call process. The user then chooses the target class and its specific sub-group from the available options. Once selected, the bot generates and displays the complete list of students within that sub-group, allowing the teacher to review the entire cohort simultaneously. The educator registers attendance by tapping the names of the present students, after which the system compiles a finalized list of attendees. This record is immediately stored in the database, guaranteeing accurate tracking and facilitating continuous educational analytics.

Consequently, the capacity to process multiple students simultaneously significantly boosts operational efficiency and conserves valuable instructional time. This is especially critical during lesson planning, as it enables rapid attendance verification without interrupting the flow of the class or causing unnecessary downtime.

Grade Review Process. To review academic scores, the instructor selects the “View Grades” option and specifies the target student cohort and the desired month from the available menu. Following this selection, the system automatically compiles a comprehensive grade report for the designated period in XLSX format, ensuring a highly accessible and structured presentation of the data. This generated spreadsheet is then transmitted directly to the educator through the Telegram chat, with the filename clearly indicating the corresponding group and month for easy identification.

Performance Visualization. The platform also offers a graphical representation of student achievements through a subgroup performance chart. The educator begins by choosing a specific student group from the interface. The system then processes the accumulated scores, aggregating the total points earned by learners within each respective subgroup. Based on this aggregated data, the bot dynamically generates a bar chart where the horizontal axis represents the subgroups and the vertical axis reflects their cumulative scores. This visual summary is immediately delivered to the user via the chat interface. Consequently, this visualization feature provides educators with a clear, at-a-glance understanding of performance distribution across different subgroups, thereby facilitating data-driven analysis and informed pedagogical decisions.

System Evolution and Core Value. In summary, the developed mobile application has undergone a substantial transformation. Initially conceived merely as a passive tool for logging student achievements within a point-based framework, it has matured into a holistic environment for

the active administration of both the educational process and student dynamics. The system continues to liberate educators from paper-based record-keeping and the reliance on cumbersome electronic devices, requiring only a smartphone with the Telegram application. Fundamental functionalities-such as bulk group importing, adaptable event configuration, and capped point grading-have been preserved and significantly refined. The principal advantage of this updated iteration lies in its robust pedagogical interaction tools. The integration of real-time lecture polling ensures universal student engagement, granting the instructor immediate feedback and the agility to modify the lesson's trajectory. Furthermore, the psychological assessment module aids in the strategic assembly of cohesive student teams for collaborative projects. Automated attendance monitoring, intrinsically linked to student activity, promotes deliberate participation, while advanced analytical features enable the seamless export of detailed Excel reports for in-depth review. Ultimately, the application has surpassed the limitations of a basic "digital gradebook," emerging as a multifaceted instrument that not only documents academic progress but also empowers educators to foster effective audience engagement, optimize group dynamics, and execute well-informed educational strategies.

Conclusions. The research successfully fulfilled all objectives pertaining to the qualitative modernization of the previously established software solution. Practical deployment of the updated Telegram-based application has demonstrated that the system has entirely outgrown the constraints of a conventional “electronic gradebook” intended merely for the passive logging of student results. The project has matured into a secure, comprehensive digital ecosystem designed for multifaceted pedagogical interaction. A role-based access control model, coupled with modern one-way cryptographic hashing for passwords, guarantees a high standard of personal data protection, effectively neutralizing the risk of information breaches even in the event of unauthorized server access. Additionally, a flexible mechanism for defining new learning activity types equips instructors with a convenient method to tailor the educational experience to specific didactic objectives.

The paramount value of this modernization is the successful integration of tools for active, real-time audience engagement. The mechanisms facilitating instant, smartphone-based polling during lectures involve every student in active cognitive processing, moving beyond the traditional reliance on a small subset of vocal learners. The swift aggregation of written responses, combined with strict instructor control over submission deadlines, cultivates academic discipline and enables immediate knowledge verification, allowing for real-time pedagogical adjustments. An innovative automated attendance tracking solution, intrinsically tied to lecture participation, generates intrinsic motivation for conscious involvement in the learning process. Moreover, the integrated four-stage visual psychological testing module has demonstrated significant pedagogical efficacy; by analyzing psychotypes, it allows for the proactive assembly of balanced micro-groups, thereby substantially mitigating interpersonal conflict and enhancing collective cohesion during collaborative assignments. Finally, the automation of analytical academic report exports to Excel, alongside the graphical visualization of aggregate scores by educational tier, has provided administrators with a highly effective instrument for real-time monitoring and evidence-based decision-making. Ultimately, the developed application significantly conserves instructional time, streamlines the educator's administrative burden, and elevates the overall quality of educational process management.

List of references

1. Zheng, X. Social media and psychology of language learning: The role of telegram-based instruction on academic buoyancy, academic emotion regulation, foreign language anxiety, and English achievement / X. Zheng, S. M. Ismail, T. Heydarnejad // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, № 5. – Article e15830.

2. Salakhov, I. M. Telegram bot “Farida” / I. M. Salakhov; research director M. N. Salakhov // Student science for agricultural production: Proceedings of the 82nd student (regional) scientific conference, Kazan, March 26–27, 2024 / Kazan State Agrarian University. – Kazan: Kazan State Agrarian University, 2024. – pp. 239–250.

3. Salakhov, I. M. Telegram bot Farida: certificate of state registration of computer program No. 2024660806 / I. M. Salakhov, M. N. Salakhov, F. T. Nezhmetdinova; copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State Agrarian University". – № 2024619199; declared 26.04.2024; registered in the Register of Computer Programs on 13.05.2024.

УДК 81'367

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО РУССКО-АНГЛИЙСКОГО СЛОВАРЯ ФРАЗЕОЛОГИЗМОВ С ПРОЗРАЧНОЙ ВНУТРЕННЕЙ ФОРМОЙ

Салиева Р.Н., к.филол.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-0515-7245;
Тарасова Ф.Х., д.филол.н., профессор Института филологии и межкультурной коммуникации ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

A NEW CONCEPT FOR CREATING AN ELECTRONIC RUSSIAN–ENGLISH DICTIONARY OF PHRASEOLOGICAL UNITS WITH A TRANSPARENT INNER FORM

Salieva R.N., Candidate of Philological Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-0515-7245;
Tarasova F.Kh., Doctor of Philological Sciences, Professor at the Institute of Philology and Intercultural Communication, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Аннотация

Теоретическое обоснование и соответствующие экспериментальные подтверждения новой концепции создания электронного русско-английского словаря фразеологизмов с прозрачной внутренней формой; разработка новых методов отбора фразеоматериала; создание системы фразеографических приемов параметризации материала в словаре данного типа; разработка принципов построения двуязычного фразеологического словаря фразеологизмов с прозрачной внутренней формой как одной из форм электронной репрезентации фразеологизма; выбор соответствующих принципов фразеографирования, то есть определение макроструктуры словаря; выбор формата представления информации в словаре, то есть определение микроструктуры словаря позволяют конструировать словарь соответствующего типа и решать как новые, так и старые проблемы. На наш взгляд, в этом заключается понимание фразеографического потенциала технологических инноваций.

В статье делается попытка проанализировать явление, с которым мы сталкиваемся в процессе отбора фразеоматериала для нового электронного русско-английского словаря фразеологизмов с прозрачной внутренней формой.

В ходе исследования мы выявили, что прежняя статичная словарная статья (фразеологическое гнездо) начинает устаревать в тот момент, когда она фиксирует в системе своих значений, примеров и переводов такую картину мира, которая уже заметно отличается от действительности. Поэтому, создавая новую модель электронного фразеологического словаря, необходимо решать задачи междисциплинарного сотрудничества, чтобы обеспечить еще более высокое качество и поиск новых способов представления фразеографического материала. Целью исследования является отбор, структурирование и систематизация фразеоматериала русского и английского языков в сопоставительном аспекте.

Научная новизна заключается в новых подходах к пониманию, рассмотрению и изучению фразеографического потенциала с точки зрения технологических инноваций в двух сопоставляемых языках. Впервые делается попытка проанализировать, сопоставить и систе-

матизировать фразеоматериал, отобранный из фразеологических микросистем двух неродственных языков, в электронном пространстве.

В статье мы отражаем результаты исследованных и отобранных фразеологических единиц и демонстрируем их систематизацию в формате новой модели электронного двуязычного фразеологического словаря.

Ключевые слова: фразеологическая единица, прозрачная внутренняя форма, фразеоматериал, новая модель электронного фразеологического словаря

Abstract

Theoretical justification and corresponding experimental validation of a new concept for the creation of an electronic Russian–English dictionary of phraseological units with a transparent inner form; the development of new methods for selecting phraseological material; the creation of a system of phraseographic techniques for parameterising material in a dictionary of this type; the development of principles for constructing a bilingual phraseological dictionary of phraseological units with a transparent inner form as one of the forms of electronic representation of phraseological units; the selection of appropriate principles for phraseological organisation, that is, the definition of the dictionary's macrostructure; the selection of a format for presenting information in the dictionary, that is, the definition of the dictionary's microstructure, enables the construction of a dictionary of the relevant type and the resolution of both new and long-standing problems. In our view, this is the essence of understanding the phraseological potential of technological innovations.

This article attempts to analyse a phenomenon we encounter whilst selecting phraseological material for a new electronic Russian–English dictionary of idioms with a transparent inner form.

In the course of our research, we have found that the traditional static dictionary entry begins to become obsolete the moment it records, within its system of meanings, examples and translations, a picture of the world that already differs markedly from reality. Therefore, when developing a new model for an electronic phraseological dictionary, it is necessary to address the challenges of interdisciplinary collaboration with programmers and designers in order to ensure even higher quality and to explore new ways of presenting phraseological material. The aim of this study is to select, structure and systematise phraseological material from the Russian and English languages from a comparative perspective.

The scientific novelty lies in new approaches to understanding, examining and studying phraseological potential from the perspective of technological innovations in the two languages under comparison. For the first time, an attempt is made to analyse, compare and systematise phraseological material selected from the phraseological microsystems of two unrelated languages within an electronic environment.

In this article, we present the results of our research and demonstrate their systematisation within the framework of a new model for an electronic bilingual phraseological dictionary.

Keywords: a phraseological unit, a transparent inner form, idiomatic material, a new model of an electronic phraseological dictionary

Введение

Создаваемую модель электронного русско-английского словаря фразеологизмов с прозрачной внутренней формой (РАСФ ПВФ) мы относим к двуязычному активному (продуктивному) фразеологическому словарю. Активным или продуктивным он является для русско-английского пользователя, поскольку входным является русский язык. Пользователи и активного, и пассивного словаря имеют целью поиск одного и того же – переводного эквивалента, но электронный словарь позволяет находить и узнавать, кроме основного и коннотативного значений, также другую дополнительную информацию: возможную грамматическую, контекстуальную, функционально-стилистическую, этимологическую (при необходимости) и др.

Проектируемая модель нового словаря связана с возможностью актуализировать и углубить решение такой задачи переводной (двуязычной) фразеографии как «фиксация оп-

тимального или оптимальных эквивалентов единицам входного (русского) языка, минимизирующих потери при переводе» [1] в электронном пространстве путем сопоставления двух языков родного (русского) и иностранного (английского). Задача, на первый взгляд, универсальная, но она углубляется «за счет новых более категорических требований, выдвигаемых к родно-иностранным и иностранно-родным словарям как источнику знаний по текстообразующим способностям эквивалентов, включая их дискурсивное поведение» [2].

Создаваемая модель спроектирована и реализована в электронном пространстве как веб-документ для того, чтобы обеспечить сопоставление фразеологических единиц с прозрачной внутренней формой русского языка и их переводные эквиваленты на английском языке в соответствии с новыми тенденциями во фразеологии и фразеографии в удобном формате с использованием дополнительных возможностей цифрового пространства.

Полезность и эффективность создаваемого продукта мы доказываем в ходе исследования и описания полученных результатов.

«Словари помогают представителям различных культур и народов лучше понимать друг друга, узнавать и проникать в культуру друг друга, решать совместно какие-либо вопросы и трудности» [3], поскольку словари содержат в себе массу знаний и опыт, накопленный к моменту создания словаря тем или иным народом и обществом. Мы делаем попытку отразить в нашем словаре фразеологический материал, собранный в течение определенного периода времени на рубеже XX и XXI веков и представляющий собой копилку того языкового материала, который необходим в процессе коммуникации.

Ученые В.А. Козырев и В.Д. Черняк отмечают: «Совокупность словарей последнего времени отражает языковой облик эпохи, представляет наиболее существенные изменения в лексиконе современной языковой личности; именно словарям принадлежит исключительное место в сохранении культурной памяти народа, культурного кода в формировании лингвистически компетентного члена языкового коллектива, человека, способного осознанно строить свое речевое поведение и оценивать речь других» [4].

Многие словари, основной корпус статей которых сформировался в языковой атмосфере середины XX века, представляют собой лексикографические музеи (особенно, если говорить о специализированных словарях). В результате, «универсальные бумажные словари демонстрируют отсутствие влияния достижений теоретической лексикографии на лексикографическую практику. Научные лексикографические проекты существуют, но реализуются в виде словарей, не покрывающих и 10% всего лексикографического пространства» [5].

Отличительной особенностью словарной статьи создаваемого нами РАСФ ПВФ является то, что отобранные в языковых корпусах русского и английского языков и зафиксированные в авторской картотеке, фразеологические эквиваленты (полные и частичные), либо аналоги (полные и частичные), реже, интернационализмы и ложные полные или частичные эквиваленты последовательно включаются в иллюстративную часть как контексты русского и английского языков, в которых реализуется значение той или иной фразеологической единицы.

Andreas Buerki утверждает, что «скорость языковых изменений может сыграть важную роль в построении более глубокого понимания языковых изменений в целом. Новая независимая мера скорости, которая легко интерпретируется и поэтому обладает высокой валидностью (правильность, правомочность, обоснованность), а также надежна и потенциально применима к любой лингвистической характеристике, которая может быть подсчитана в корпусных данных» [6].

Мы тщательным образом подбирали примеры из первоисточников русской и английской классической литературы XX – XXI веков; также исследование проводилось на материале текстов Национального корпуса русского языка (2003–2026), Генерального интернет-корпуса русского языка, Британского Национального корпуса English-Corpora: BNC (British National Corpus), Корпуса современного американского варианта английского языка English-Corpora: COCA и современного iWeb (the Intelligent Web-based Corpus) корпуса. Решая задачу репрезентации фразеологического значения, речевых смыслов, а в некоторых случаях и культур-

ного фона ФЕ каждого из исследуемых языков, мы использовали произведения классической литературы, поскольку классическая литература представляет собой характерную, типичную, созданную классиками, а значит обработанную форму общенародного языка, обладающую письменно закрепленными нормами. «Фразеографическому описанию подлежит общее для всех носителей языка системное значение языковой единицы, под которым понимается общая для всех носителей языка часть компетенций, релевантная для изучения языка как системы. В системное значение включаются и научные и бытовые знания одновременно» [7].

При разработке концепции и составлении новой модели двуязычного переводного РАСФ ПВФ важным явилось применение функциональной теории во фразеографии, разработанной датскими учеными и позволившей «составить профиль пользователя с целью определения основных его потребностей (*user oriented dictionary*), а также решения различных задач, направленных на повышение фразеографической компетенции пользователей» [8].

Принимая во внимание функциональную теорию во фразеографии и концепцию ориентированности создаваемого словаря на пользователя, можно говорить о важности применения принципов данной теории.

Методы исследования

При сопоставлении и отборе фразеологических единиц с прозрачной внутренней формой во фразеосистемах двух неродственных языков – русского и английского, необходимым оказалось применение, в первую очередь, сопоставительно-типологического метода, позволившего осуществить синхронно-сопоставительно-параллельное описание материала, основанного на главных понятиях фразеологической, лексикографической и фразеографической теорий. Также мы использовали другие методы исследования: метод сплошной выборки; метод фразеологической идентификации; метод фразеологического описания; метод дефиниционного анализа; метод компонентного анализа; метод семантико-структурного анализа.

Обсуждение и результаты

Составление профиля пользователя имеет большое значение, так как он помог определить такие важные аспекты модели создаваемого словаря, как «фразеологический профиль (то есть, выбор и размещение вокабулы – заглавного фразеологизма) и профиль словарной статьи (то есть, выбор и организация фразеографических данных)» [9].

По словам С.В. Гринева-Гриневича «точное определение читательского адреса словаря необходимо для формирования общих задач словаря, правильной подачи фразеоматериала и определения состава фразеологической информации.

При составлении словаря очень важно ориентироваться на потребности потенциального пользователя, однако, хороший словарь не должен полностью основываться на требованиях потенциального пользователя» [10].

Описание профиля пользователя РАСФ ПВФ помогло нам разработать фразеографическую концепцию при формировании корпуса новой цифровой модели переводного словаря.

Мы опирались на следующие основные критерии, выделяемые исследователями:

1) По уровню предметной компетенции. В данной группе пользователей мы использовали следующую градацию: неспециалисты, специалисты и эксперты в области фразеологии.

2) По лингвистической компетенции. Для нашего исследования важно, насколько человек владеет фразеологией в обоих языках (какими базовыми лингвистическими знаниями обладает (например, знает базовые ФЕ).

3) По лексикографической компетенции. Для нашего исследования важно, знаком ли человек с принципами построения словарей, с системой помет, с тем, как устроена сама словарная статья.

Формулировка гипотезы требует проверки и подтверждения. Мы получили результаты и новые знания через такие практические действия как наблюдение, эксперимент, измерение. После сбора данных (фразеоматериала) мы измеряли параметры, проводили опросы и анкетирование, ставили эксперимент для наблюдения за эффективностью использования создаваемой модели словаря. На основе полученных фактов сделаны соответствующие выводы.

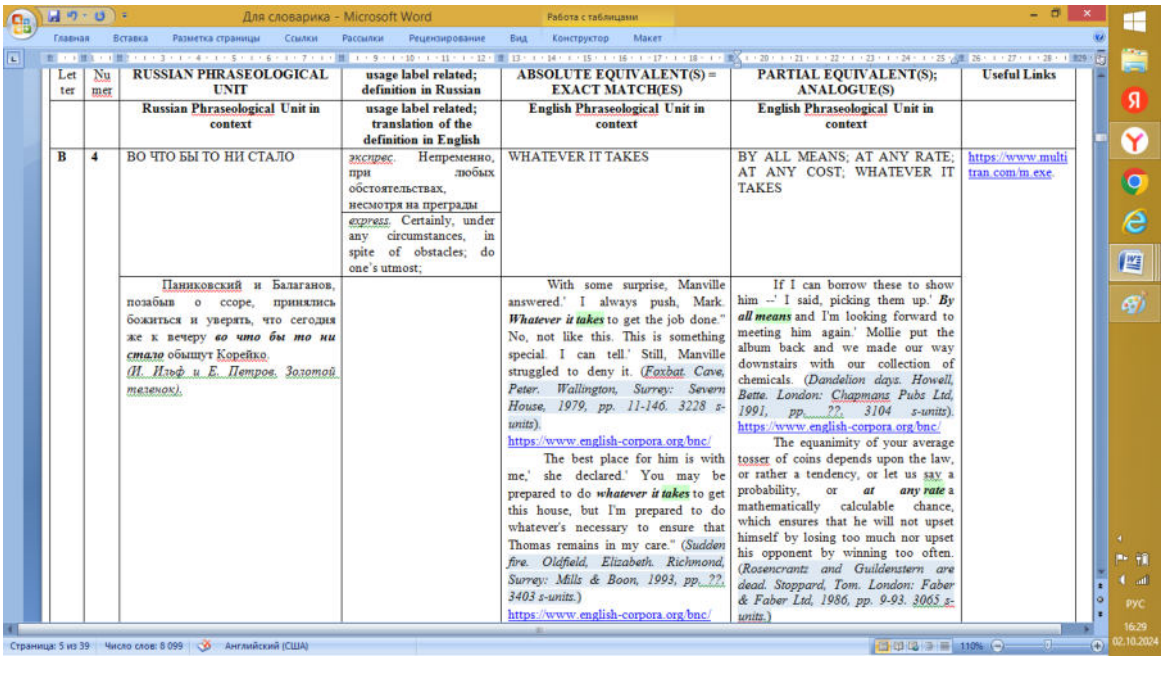
Полученные результаты выполненных заданий, опроса и анкетирования особенно полезны для решения задачи собрать и структурировать соответствующие необходимые категории данных для словарной статьи создаваемой модели. А значит разработать модель параметризации фразеологической единицы с учетом фактора адресата словаря.

Считаем необходимым включить в словарную статью те параметры, о которых мы предполагали ранее: 1) вокабула (заглавный фразеологизм); 2) грамматическая характеристика (возможная вариантность и факультативность компонентов ФЕ), возможные парадигматические формы ФЕ: вариативные компоненты выделяются с двух сторон косой чертой: /…/, а факультативные компоненты выделяются угловыми (ломаными) скобками: <…>; 3) иллюстративные примеры употребления фразеологической единицы в контексте (от одного до двух или трех примеров употребления); 4) пометы, указывающие на область употребления фразеологической единицы, стилистическую принадлежность, временные и дискурсивные характеристики и т.п.; 5) дефиниция фразеологической единицы с прозрачной внутренней формой, толкование значения на русском языке; 6) перевод пометы (если таковая есть) в значении фразеологической единицы в английский язык; 7) перевод дефиниции фразеологической единицы в английский язык; 8) перевод фразеологической единицы (эквивалент полный или частичный, либо аналог полный или частичный) в английский язык; 9) иллюстративные примеры употребления фразеологической единицы в контексте (от одного до двух или трех примеров употребления) в английском языке; 10) этимологическая характеристика (если необходима); 11) комментарий (если необходим); 12) полезные ссылки на внешние источники.

Словарная статья в словаре представлена в форме табличных колонок (по типу параллельных корпусов). В частности, мы исследовали параллельный корпус Организации Объединенных Наций (ООН) и учитывали его формат. Корпус призван помочь переводчикам распознавать эквивалентные термины и выражения в различных языках, в том числе фразеологические. С этой целью происходит выравнивание текстов. Даются параллельные колонки с одним и тем же текстом на множестве языков.

Также при составлении РАСФ ПВФ мы учитывали формат электронного Большого русско-английского фразеологического словаря.

Описание выше формата словарной статьи, создаваемой нами модели переводного электронного словаря и расположение в ней фразеологического материала в форме таблицы колоночного типа хорошо проиллюстрировано на рис. 1.



Letter	Number	RUSSIAN PHRASEOLOGICAL UNIT Russian Phraseological Unit in context	usage label related; definition in Russian usage label related; translation of the definition in English	ABSOLUTE EQUIVALENT(S) = EXACT MATCH(ES) English Phraseological Unit in context	PARTIAL EQUIVALENT(S); ANALOGUE(S) English Phraseological Unit in context	Useful Links
В	4	ВО ЧТО БЫ ТО НИ СТАЛО	экспрес. Непременно, при любых обстоятельствах, несмотря на преграды *express.* Certainly, under any circumstances, in spite of obstacles; do one's utmost;	WHATEVER IT TAKES	BY ALL MEANS; AT ANY RATE; AT ANY COST; WHATEVER IT TAKES	https://www.multitran.com/m.exe
		Паниковский и Балаганов, позабыв о ссоре, принялись божиться и уверять, что сегодня же к вечеру ***во что бы то ни стало*** обыщут Корейко. *(И. Ильф и Е. Петров. Золотой теленок).*		With some surprise, Manville answered.' I always push, Mark. ***Whatever it takes*** to get the job done." No, not like this. This is something special. I can tell.' Still, Manville struggled to deny it. *(Foxbat Cave, Peter. Wallington, Surrey: Severn House, 1979, pp. 11-146. 3228 s-units).* https://www.english-corpora.org/bnc/ The best place for him is with me,' she declared.' You may be prepared to do ***whatever it takes*** to get this house, but I'm prepared to do whatever's necessary to ensure that Thomas remains in my care." *(Sudden fire. Oldfield, Elizabeth. Richmond, Surrey: Mills & Boon, 1993, pp. ??. 3403 s-units.)* https://www.english-corpora.org/bnc/	If I can borrow these to show him --' I said, picking them up.' ***By all means*** and I'm looking forward to meeting him again.' Mollie put the album back and we made our way downstairs with our collection of chemicals. *(Dandelion days. Howell, Bette. London: Chapmans Pubs Ltd, 1991, pp. ??. 3104 s-units).* https://www.english-corpora.org/bnc/ The equanimity of your average tosser of coins depends upon the law, or rather a tendency, or let us say a probability, or ***at any rate*** a mathematically calculable chance, which ensures that he will not upset himself by losing too much nor upset his opponent by winning too often. *(Rosencrantz and Guildenstern are dead. Stoppard, Tom. London: Faber & Faber Ltd, 1986, pp. 9-93. 3065 s-units.)*	

Рис. 1. Формат словарной статьи в РАСФ ПВФ

Выводы

Мы приходим к главному выводу, что создание новой модели электронного словаря – это возможность интегрировать, а значит объединять, расширять, присоединять, удалять, укрупнять и т. д. средства описания уже существующих фразеологических знаний.

Вырабатывая свою концепцию построения словаря, мы убеждаемся, что, с одной стороны, его фразеологическая база сужается, благодаря интегральным средствам описания, но, с другой стороны, мы выстраиваем систематическую стратегию перевода фразеологизмов с прозрачной внутренней формой из русского языка в английский, которые являются многочисленными в обоих языках. Считаем, что главная функция создаваемого словаря – оказывать помощь пользователю, будет реализована, то есть для пользователей это будет один из подходящих словарей.

Список литературы

1. Берков В. П. Двуязычная лексикография / В. П. Берков. – М.: ООО Издательство «Астрель», 2004. – 236 с.

2. Хлебда В. О превращаемости словарей / В. Хлебда // Русский язык и литература в пространстве мировой культуры: Материалы XIII Конгресса МАПРЯЛ. Ред. кол.: Л.А. Вербицкая, К.А. Рогова, Т.И. Попова и др. В 15 т. Т. 7. Современная русская лексикография: теория и практика, 2015. – СПб.: МАПРЯЛ. – С. 201–206.

3. Юсупова А. Ш. Татарско-русские и русско-татарские словари XIX века как лексикографические памятники и источники изучения лексики татарского языка: Дис. … д-ра филол. наук: 10.02.02 / А. Ш. Юсупова. – Казань, 2008. – 450 с.

4. Козырев В. А. Русская лексикография: пособие для вузов / В. А. Козырев, В. Д. Черняк. – М.: Дрофа, 2004. – 288 с.

5. Селегей В. П. Электронные словари и компьютерная лексикография / В. П. Селегей // Ассоциация лексикографов Lingvo, 2003. – С. 200-235. URL: http://www.lingvoda.ru/transforum/-articles/selegey_a1.asp (дата обращения: 08.07.2026).

6. Buerki Andreas. Furiously fast: On the speed of change in formulaic language // Yearbook of Phraseology 10(1): December, 2019. P. 5-38. DOI: 10.1515/phras-2019-0003.

7. Стернин И. А. Методики индексализации и шкалирования в рамках сопоставительно-параметрического метода / И. А. Стернин, М. А. Стернина // Сопоставительные исследования, 2016. – Воронеж: Изд-во “Истоки”, 2016. – С. 22-29.

8. Bergenholtz H. LSP Lexicography or Terminography? The lexicographer’s Point of View / H. Bergenholtz, P.A. Fuertes Olivera // Specialized dictionaries for learners: Berlin / New York: Walter de Gruyter GmbH & Co., 2010. – P. 26-38.

9. Трифонов А.С. Составление профиля пользователя и его влияние на словарную статью двуязычного учебного терминологического словаря / А.С. Трифонов // [Электронный ресурс], 2023. С. 1-9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostavlenie-profilya-polzovatelya-i-ego-vliyanie-na-slovarnuyu-statyu-dvuyazychnogo-uchebnogo-terminologicheskogo-slovarya/viewer (дата обращения: 30.04.2026).

10. Гринев-Гриневич С. В. Введение в терминографию: Как просто и легко составить словарь. Учебное пособие / С. В. Гринев-Гриневич. – М.: URSS, 2021. – 222 с.

УДК 378:811.111:004.8

ADVANTAGES AND RISKS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGLISH LANGUAGE LEARNING AT A NON-LINGUISTIC UNIVERSITY

Sakharov R.I., student;
Krylova A.S., Candidate of Pedagogical Science, Associate Professor of the Department of Foreign languages, Russian and Russian as a Foreign language of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-0091-0287

ПРЕИМУЩЕСТВА И РИСКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА В НЕЯЗЫКОВОМ ВУЗЕ

Сахаров Р.И., студент;
Крылова А.С., к.пед.н., доцент кафедры иностранных языков, русского и русского как иностранного ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-0091-0287

Abstract

The article analyzes the advantages and risks of using artificial intelligence in English language learning at a non-linguistic university. The relevance of the topic is determined by the rapid digitalization of higher education and the growing integration of generative Artificial intelligence (AI) technologies into the educational process. The paper examines the specific conditions of English language learning for students of non-linguistic specialties, including limited classroom hours, uneven language proficiency, and professionally oriented instruction. Particular attention is paid to the educational potential of AI tools in individualizing learning, improving writing skills, expanding vocabulary, and developing communicative competence. The article discusses the educational functions of such tools as ChatGPT, Grammarly, DeepL, and AI-powered chatbots. At the same time, the study considers the major risks of AI use, including reduced learner autonomy, academic integrity issues, superficial learning, and uncritical acceptance of AI-generated content. The analysis of international and Russian studies demonstrates that the effectiveness of AI depends on pedagogical implementation and students' digital literacy. The author concludes that artificial intelligence can become an effective support tool in language education when it is used responsibly and under appropriate pedagogical guidance.

Keywords: artificial intelligence; digitalization of education; English language learning; non-linguistic university; AI-assisted learning

Аннотация

Статья посвящена анализу преимуществ и рисков использования искусственного интеллекта (ИИ) при изучении английского языка в неязыковом вузе. Актуальность темы связана с активной цифровизацией высшего образования и распространением генеративных ИИ-технологий в учебном процессе. В работе рассматриваются особенности изучения английского языка студентами неязыковых направлений, включая ограниченное количество аудиторных часов, неоднородный уровень подготовки студентов и профессионально ориентированный характер обучения. Особое внимание уделяется возможностям инструментов с ИИ в области индивидуализации обучения, развития письменной речи, расширения словарного запаса и тренировки коммуникативных навыков. В статье анализируются образовательные функции

таких инструментов, как ChatGPT, Grammarly, DeepL и AI-powered chatbots. Одновременно рассматриваются основные риски использования искусственного интеллекта, среди которых снижение самостоятельности студентов, проблемы академической честности, поверхностное усвоение материала и некритичное восприятие контента, созданного с помощью ИИ. Анализ международных и российских исследований показывает, что эффективность использования ИИ зависит от характера его педагогического применения и уровня цифровой грамотности обучающихся. Авторы приходят к выводу, что искусственный интеллект может стать эффективным инструментом поддержки языкового обучения при условии его ответственного и контролируемого использования в образовательном процессе.

Ключевые слова: искусственный интеллект; цифровизация образования; обучение английскому языку; неязыковой вуз; обучение с использованием ИИ

Introduction

Relevance. The relevance of this topic follows from two converging trends. First, higher education is undergoing rapid digital transformation, and generative AI has moved from experimental technology to an everyday classroom reality. Second, English remains a key academic and professional instrument for students in non-linguistic universities, where it is studied not as a major but as a practical tool for reading professional texts, writing, presenting, and participating in international communication. In the field of language education, artificial intelligence has a particular impact on the process, as it works directly with the language material, namely text, speech, correction, reformulation, and interaction [1, 2, 3].

Research problem. Recent scholarship identifies a clear tension between educational opportunity and pedagogical risk. AI can expand access to individualized support and formative feedback, but it can also weaken learner autonomy, complicate assessment, and blur the boundary between assistance and substitution of student work. This contradiction becomes particularly important in the non-linguistic university, where English courses usually operate under constrained time conditions and uneven student preparedness [4, 5, 6]. The aim of this article is to analyze the main advantages and risks of AI in English language learning at a non-linguistic university. The objectives are to define AI-assisted learning in the context of educational digitalization, to describe the specific conditions of English learning in non-linguistic universities, to examine the main advantages and risks of AI use, and to formulate principles of responsible pedagogical implementation. The object of the study is the process of English language learning in a non-linguistic university. The subject is the pedagogical potential and constraints of AI within that process. The article proceeds from the hypothesis that AI can improve English learning outcomes in a non-linguistic university only when it is used as a guided support tool rather than as a substitute for students' independent intellectual work.

Research Methodology

This article follows a theoretical-analytical approach. It synthesizes recent international peer-reviewed studies, selected Russian-language studies, and several reputable institutional reports directly relevant to AI in education and English language teaching. The source base was chosen to balance general AIED discussions, language-learning-specific studies, academic integrity research, and Russian work on foreign-language instruction in non-linguistic university settings. Such a design is appropriate because the article's goal is interpretive and analytical rather than experimental or statistical.

Three methods structure the analysis. Literature analysis is used to identify major themes, recurrent findings, and central controversies in the scholarship. Comparative analysis is used to examine how the same AI affordance may function either as a benefit or as a risk depending on pedagogical conditions. For example, rapid feedback may strengthen revision, but it may also reduce self-correction if students accept suggestions uncritically. Synthesis is then used to integrate international and Russian findings into a coherent set of recommendations relevant to English instruction in non-linguistic universities.

Main Body

AI as part of digitalization in education. In the context of this article, AI-assisted learning can be understood as the use of AI systems to generate, adapt, explain, evaluate, or mediate learning content and interaction while final pedagogical judgment remains with the teacher and learner. Recent literature describes AI in education as a cluster of functions rather than a single tool: content generation, adaptive support, automated or semi-automated feedback, conversational practice, assessment assistance, and support for self-regulation. At the same time, both research and policy documents emphasize that these functions only become educationally meaningful under human-centered pedagogical design [7].

Within English language learning, these functions are visible in a wide range of platforms. Examples commonly discussed today include ChatGPT, Grammarly, DeepL, Duolingo, Quizlet, and ELSA. Taken together, they illustrate several major educational functions: prompt-based explanation and drafting; grammar and style feedback; translation and reformulation, gamified adaptive practice, AI-generated study materials, and pronunciation or fluency feedback. The recent British Council review of AI in ELT identified speaking, writing, reading, pedagogy, and self-regulation as key domains of current use, while Russian methodological work similarly classifies AI tools by the kinds of feedback they provide to teachers and learners [2].

Specifics of English learning in non-linguistic universities. The non-linguistic university creates a distinctive instructional context. English is usually instrumental and professionally oriented: students need it for academic reading, workplace communication, presentations, reports, and discipline-specific vocabulary rather than for philological study as such. Russian studies emphasize three recurring constraints in this context: a limited number of contact hours, mixed initial proficiency levels within one cohort, and the need to connect language tasks with professional discourse. Polyudova E. N,, for example, explicitly links the appeal of AI in non-linguistic settings to restricted classroom hours and heterogeneous student preparation, while Lavrinenko I. Y. discusses ChatGPT precisely in the context of a tool for linking language assignments with professional discourse [5, 6].

These features explain why AI seems particularly attractive in non-linguistic universities. If classroom time is short and student levels are uneven, tools that provide individualized practice outside class become pedagogically useful. If the goal is professionally oriented English, AI can generate field-specific examples, drills, and role-play scenarios more quickly than many conventional materials. Yet the same conditions also increase risk: when English is not a major subject, students may be more tempted to use AI to "finish the task" rather than to learn the language behind it. The context therefore magnifies both the benefits and the dangers of AI integration [5, 6].

Advantages of AI in English language learning (tabl.1). The first major advantage of AI in English language learning is individualization. Reviews of ChatGPT use in second-language learning show that learners most often value language models as tools for content generation, feedback, and learning support, especially in English as a foreign language course at the college level [10]. In practice, this means that a student can ask for a simpler explanation of a grammatical tense, additional examples of a particular grammar pattern, or a vocabulary exercise adapted to a specific level. This flexibility is especially useful in non-linguistic universities, where students in the same group may have very different levels of language proficiency. AI can also provide rapid feedback: instead of waiting for a teacher's correction, students can immediately receive comments on grammar, vocabulary, wording, and coherence, which may support revision and make independent learning more effective [2, 8, 9].

The second group of advantages is connected with writing development and vocabulary expansion. Research on language learning shows that writing is one of the most common areas of AI application. Studies focused on teachers also note that AI is regularly used for generating ideas, supporting draft writing, summarizing texts, correcting language, and reformulating sentences [1, 9]. In the Russian context, AI can be directly integrated into business English writing tasks, which is particularly relevant for professionally oriented English instruction. When used responsibly, such tools can help students better understand genre conventions, improve text structure, and compare different

lexical choices. They can also support terminology learning by generating contextual examples, contrasting similar terms, and paraphrasing difficult specialist vocabulary. For students who study English for economics, law, engineering, medicine, or other professional fields, this type of support may be more effective than memorizing vocabulary without context.

The third advantage is related to communicative practice and motivation. Practice reports improvements not only in speaking performance, but also in learners' confidence, engagement, motivation, and reduction of speaking anxiety. This is especially important in non-linguistic universities, where classroom time for oral practice is often limited and students may avoid speaking because they are afraid of making mistakes. AI chatbots and speech-based tools can create a low-pressure environment for rehearsal, repetition, and experimentation. Pronunciation-oriented tools such as ELSA provide instant feedback on pronunciation, fluency, and intonation, while many language learning applications increasingly include AI-supported role-play and answer explanation. These tools cannot replace real human communication, but they can increase the amount of practice and reduce fear of error, which is an important motivational effect in itself.

Risks of AI use. The first and most evident risk is reduced learner autonomy. When students use AI to explain difficult material, suggest alternatives, or support revision, the tool can contribute to learning. However, if they use the same tool to complete assignments instead of thinking, planning, and revising independently, its educational value is lost. Russian research on business English writing also points to this problem, noting that students may use AI to complete written assignments while avoiding independent work. This problem becomes even more serious in assessment contexts. In a real-world blind study of university assessment, Scarfe et al. (2024) found that 94% of fully AI-generated submissions were not detected, and that these submissions, on average, received higher marks than real student work. This does not mean that every use of AI is dishonest, but it shows that unsupervised written assessment has become vulnerable in the era of generative AI.

A closely related risk concerns academic integrity and detection policies. When universities rely heavily on AI detectors, they face another problem: such tools are not always reliable. Perkins et al. found that the accuracy of AI detectors can decrease significantly when AI-generated texts are slightly modified, and concluded that these tools should not be used as the sole basis for punitive academic decisions. Thus, universities face a double challenge: AI can produce texts that look suitable for assessment, while technical methods for detecting such texts remain unstable. From the student's perspective, this situation may increase temptation, weaken institutional trust, and make enforcement both difficult and potentially unfair [4, 10].

Another group of risks is connected with AI errors, superficial learning, and weaker critical thinking. Kasneci et al. emphasize the limitations, biases, and interpretive weaknesses of large language models and argue that their educational use requires fact-checking and critical literacy. This warning is highly relevant to English language learning. An AI system may produce a grammatically correct sentence that is pragmatically inappropriate, culturally inaccurate, stylistically unsuitable, or factually wrong. If students evaluate the quality of a text only by its fluency, they may adopt poor language habits or accept false information. Over time, this can lead to superficial learning: the text may become better, but the student may not become a better writer or reader. The Russian review by Bermus reaches a similar conclusion from the perspective of higher education: the benefits of AI are real, but they depend on whether neural network tools are integrated into reflective pedagogy rather than used as shortcuts.

Finally, AI raises concerns related to privacy, security, and governance. UNESCO's guidance emphasizes that the rapid spread of public generative AI tools has developed faster than regulatory frameworks in many countries, which may leave educational users' personal data insufficiently protected. For universities, this means that enthusiasm for new technologies should be balanced with questions about what data students enter into AI systems, how this data is stored, whether the platforms are institutionally approved, and how transparency is ensured in assessment and feedback. These issues are directly connected with the quality of teaching: if students are encouraged to use AI

without clear rules on disclosure, source checking, and privacy, institutional digitalization may look technologically advanced but remain pedagogically weak [2, 3].

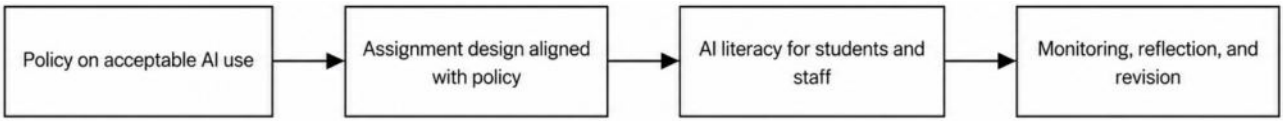
Table 1 synthesizes recurrent advantages and risks discussed across international and Russian studies reviewed in this article (tabl. 1).

Table 1

Recurrent advantages and risks

Area	Main pedagogical advantage	Main pedagogical risk
Grammar and writing support	Immediate correction, reformulation, drafting help	Mechanical acceptance of edits without understanding
Vocabulary and ESP support	Faster access to examples, paraphrases, specialist lexis	Superficial memorization and overreliance on translation
Speaking and pronunciation practice	More rehearsal time, lower anxiety, instant feedback	Illusion of communicative competence without authentic interaction
Independent study	Individual pace and flexible access outside class	Reduced autonomy if AI becomes a substitute for effort
Assessment support	Faster formative feedback and revision cycles	Easier ghostwriting, blurred authorship, assessment insecurity

The reviewed literature supports a balanced position: AI should be integrated into education, but only under clear pedagogical control. A responsible model begins with a clear distinction between permitted support and prohibited substitution. It is pedagogically reasonable to allow students to use AI for grammar explanation, brainstorming, comparison of paraphrases, pronunciation practice, and draft-level corrective feedback. At the same time, it is much less acceptable to allow students to submit undisclosed AI-generated essays, discussion posts, or take-home assignments as their own independent work. Recent guidelines and studies therefore point to four key principles: transparent policy, redesign of assignments, AI literacy, and regular monitoring and revision of educational practice [1, 3, 10]. For teachers, this means that attention should shift from the final text alone to the learning process behind it. In English language courses, this may include asking students to provide records of their AI queries, drafts with comments, short oral explanations of revisions, genre-based reflections, or comparisons between an AI suggestion and the student's final version. Such practices do not eliminate AI from learning. On the contrary, they make AI use visible, discussable, and educationally meaningful. Based on the reviewed literature, it can be concluded that when students are expected to explain how and why they use AI, they are more likely to treat it as learning support rather than as hidden work done on their behalf.



Picture 1. Reasonable sequence of teacher actions

The flowchart above presents a reasonable sequence of teacher actions. Policy should define acceptable, limited, and prohibited uses of AI at the course level. Assignment design should reflect this policy through process-based, oral, staged, or discipline-specific tasks that make students' reasoning visible. AI literacy should include training in writing effective queries, checking information, evaluating

sources, disclosing AI use, and understanding the limitations of language models. Monitoring should focus less on punishing suspected AI use through unreliable detectors and more on reviewing students' learning process, discussing their AI-related choices, and updating course rules when misuse appears. At the institutional level, this also requires staff training, privacy-conscious selection of digital tools, and coordinated guidance across departments rather than isolated decisions made by individual teachers [3, 4, 10].

Conclusion

The analysis confirms the article's hypothesis in a conditional form. Artificial intelligence can improve English language learning at a non-linguistic university, but only when it is pedagogically framed as support for learning rather than as a shortcut around learning. Its strongest advantages lie in individualization, speed of feedback, writing support, vocabulary development, speaking rehearsal, and motivation. These advantages are especially relevant in non-linguistic university settings because such contexts combine limited classroom hours, uneven student levels, and professionally oriented language needs [6, 8].

The risks are equally substantial: reduced autonomy, academic integrity violations, unreliable AI output, superficial learning, weakened critical verification, and unresolved privacy or governance problems. Practical recommendations follow directly from this balance. Instructors should publish explicit AI-use rules, design tasks that reveal student process, and discuss AI use openly rather than leave it implicit. Institutions should invest in staff and student AI literacy, avoid overreliance on detectors for punitive decisions, and establish privacy-conscious governance for approved tools. In short, the educational question is no longer whether students will encounter AI, but whether universities will teach them to use it responsibly, critically, and transparently in the service of language development.

References

1. Kasneci E. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education / E. Kasneci [et al.] // Learning and Individual Differences. – 2023. – Vol. 103. – Article 102274. – DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1041608023000195 (дата обращения: 18.05.2026).

2. Edmett A. Artificial intelligence and English language teaching: preparing for the future / A. Edmett, N. Ichaporia, H. Crompton, R. Crichton. – 2nd ed. – London : British Council, 2024. – DOI: 10.57884/78EA-3C69. – URL: https://www.teachingenglish.org.uk/sites/teacheng/files/2024-08/AI_and_ELT_Jul_2024.pdf (date of access: 18.05.2026).

3. Miao F. Guidance for generative AI in education and research / F. Miao, W. Holmes. – Paris : UNESCO, 2023. – 44 p. – URL: https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research (дата обращения: 18.05.2026).

4. Bermus A. G. Benefits and risks of using ChatGPT in higher education: a theoretical review / A. G. Bermus // Pedagogy. Theory & Practice. – 2024. – Vol. 9, № 8. – P. 776–787. – DOI: 10.30853/ped20240099. – URL: https://pedagogy-journal.ru/en/article/ped20240099/fulltext?ysclid=mpayypmuh2429367334 (date of access: 18.05.2026).

5. Lavrinenko I. Yu. The ChatGPT use in the English language teaching process in a non-language university: theoretical aspect / I. Yu. Lavrinenko // Herald of Siberian Institute of Business and Information Technologies. – 2023. – Vol. 12, № 2. – P. 18–25.

6. Polyudova E. N. Artificial intelligence in the development of linguistic experience of non-linguistic university students (on the example of teaching English at a law university) / E. N. Polyudova // Courier of Kutafin Moscow State Law University. – 2025. – № 10 (134). – P. 159–166.

7. Крылова, А. С. Смешанное обучение в иноязычной подготовке бакалавров в техническом вузе / А. С. Крылова // Иностранные языки в современном мире: инфокоммуникационные технологии в контексте непрерывного языкового образования : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, Казань, 26–27 июня 2014 года / под

научной редакцией Ф.Л.Ратнер. – Казань: ООО «Центр инновационных технологий», 2014. – С. 372-377. – EDN UAYWCL.

8. Yang L. ChatGPT for L2 learning: current status and implications / L. Yang, R. Li // System. – 2024. – Vol. 124. – Article 103351. – DOI: 10.1016/j.system.2024.103351. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0346251X24001337 (date of access: 18.05.2026).

9. Крылова, А. С. Практическое применение искусственного интеллекта в обучении иностранному языку в техническом вузе / А. С. Крылова, Ж. И. Айтуганова // Проблемы современного педагогического образования. – 2026. – № 91-4. – С. 184-187.

10. Perkins M. Simple techniques to bypass GenAI text detectors: implications for inclusive education / M. Perkins, J. Roe, B. H. Vu [et al.] // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2024. – Vol. 21. – Article 53. – DOI: 10.1186/s41239-024-00487-w. – URL: https://link.springer.com/article/10.1186/s41239-024-00487-w (date of access: 18.05.2026).

УДК 004.9:37.01

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Смирнова И.В., д.э.н., профессор кафедры экономики и права;
E-mail: smirnovaiv23@yandex.ru;
Мартыненко О.В., к.э.н., заведующий кафедрой экономики и права;
E-mail: martynenko@igps.ru;
Печеневская М.А., к.пед.н., доцент кафедры экономики и права ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России», г. Санкт-Петербург, Россия;
E-mail: pechenevskaja76@mail.ru

A SPECIALIZED DIGITAL PLATFORM FOR TRAINING SPECIALISTS IN ECONOMIC SECURITY

Smirnova I.V., Doctor of Economics, Professor, Department of Economics and Law;
E-mail: smirnovaiv23@yandex.ru;
Martynenko O.V., PhD of Economics, Head of the Department of Economics and Law;
E-mail: martynenko@igps.ru;
Pechenevskaja M.A., PhD in Pedagogical Sciences, Head of the Department of Economics and Law, Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia;
E-mail: pechenevskaja76@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрено применение специализированной цифровой платформы для практической отработки навыков и умений будущих специалистов в области экономической безопасности. Авторы объединили первичные документы бухгалтерского учета, анализ, математические расчеты, с помощью которых можно выбрать оптимальный набор защиты организации от рисков и угроз, а также дать прогнозную оценку. В современных реалиях необходимо сопоставление из разных источников. Данная цифровая платформа позволяет вовремя находить противоречия, тем самым оценить ущерб и на основе проведённых расчетов принять эффективное управленческое решение.

Авторы рассматривают обучение через действие как эффективную составляющую образовательного процесса. Суть методики заключается в том, чтобы дать оценку не только пра-

вильному расчету, но и качеству доказательств, аргументированности выводов, логической последовательности решения и командной работе обучающихся. Практическая составляющая данного проекта заключается в том, чтобы дополнить лекции и практические занятия цифровой составляющей. Она не требует сложной инфраструктуры и подключения к сети «Интернет». Позволяет следить за ходом решения и в случае необходимости направлять ход решения в нужное русло. Также в режиме реального времени цифровая платформа позволяет отслеживать работу нескольких команд. Фиксация ошибок и качество аргументированности решения не несет в себе риск для реальной, действующей организации. Для подтверждения образовательного эффекта авторы предлагают дальнейшую апробацию с итоговым заданием, экспертной оценкой аргументации выводов и сравнением результатов нескольких учебных групп.

Ключевые слова: экономическая безопасность, эффективность, принятие решения, цифровая платформа, прогноз, оценка, ущерб, обучающийся

Abstract

This article discusses the use of a specialized digital platform for the practical development of skills and abilities of future economic security specialists. Authors of agreements, using primary accounting documents, analysis, and mathematical calculations, can select a “set” of protection for the organization against risks and threats using the “set” parameter, as well as provide a predictive assessment. In today's reality, discussions from various sources are essential. This digital platform allows for timely resolution of contradictions, thereby assessing damage and making effective management decisions based on the calculations.

The authors consider learning by doing as a component of the educational process. The essence of the methodology is to assess not only the accuracy of calculations but also the quality of evidence, the validity of conclusions, the logical sequence of decisions, and the teamwork of students. The practical component of this project involves completing a lesson and practical exercises on digital measurement. It does not require additional connectivity or an internet connection. Monitor the progress of the solution and, if necessary, direct it in the right direction. The digital platform also allows for real-time monitoring of the work of multiple teams. The recording of errors and the quality of the decision's argumentation pose no risk to the description of the current organization. To confirm the educational outcome, the authors are conducting further testing with a final assignment, expert evaluation of the reasoning behind the conclusions, and a comparison of the results of several groups.

Keywords: economic security, efficiency, decision-making, digital platform, forecast, reliability, damage, student

Введение

Угрозы экономической безопасности бизнеса вытекают из множества конкретных действий, таких как ошибки в первичных документах, неверная оценка последствий аварии или несогласованное действие подразделений. Все перечисленное может превратиться в прямые потери, простой и репутационный ущерб. Главная цель стратегии экономической безопасности Российской Федерации – повышение устойчивости экономики. Эта устойчивость невозможна без устойчивости и конкурентоспособности бизнеса как ее основы. Поэтому задачи по поддержке и развитию предпринимательского сектора являются ключевым механизмом для достижения этой стратегической цели [1]. Профессиональная подготовка в области экономической безопасности должна ориентироваться на формирование у обучающихся интегрального аналитического мышления, которое позволяет не только выявлять факты недобросовестных действий, но и оценивать их стоимостное выражение, прогнозировать системные эффекты для деятельности хозяйствующего субъекта, а также разрабатывать экономически обоснованные меры превентивного и реактивного характера, обеспечивающие минимизацию ущерба и повышение устойчивости бизнес-процессов. Федеральный государственный обра-

зовательный стандарт по специальности 38.05.01 «Экономическая безопасность» направляет образовательные программы «на решение профессиональных задач и формирование способности принимать обоснованные решения» [2]. Однако в классической дидактической модели изучение материала строится по принципу последовательного наращивания знаний: сначала осваивается теоретический блок, затем отрабатываются отдельные навыки (расчёт, юридический анализ), и лишь на завершающем этапе осуществляется синтез в виде управленческого решения. Такой подход, при всей своей методической стройности, не учитывает полифункциональность и нелинейность реальной профессиональной деятельности. В связи с этим возникает потребность в создании такой специализированной цифровой платформы, в которой обучающийся видит не готовый ответ, а полную и местами противоречивую задачу, как это бывает в работе реальной организации.

Цель настоящего исследования – описать устройство специализированной цифровой платформы и показать её использование для развития навыков анализа документов, расчёта экономического ущерба и аргументированного выбора мер защиты. Объектом выступает практическая подготовка обучающихся в сфере экономической безопасности, предметом исследования является цифровая модель, которая объединяет несколько учебных действий в одном кейсе.

Методика исследования

При разработке специализированной цифровой платформы применялся анализ требований ФГОС, сценарное моделирование, метод конкретных ситуаций (кейсов) и обучение через действие, т.е. «выбирать сложные, трудные проблемы, не имеющие очевидного или заранее известного правильного ответа» [3]. В научной литературе цифровая учебная игра рассматривается не как набор внешних наград, а как «среда, где правила, обратная связь и действия участника связаны с изучаемым содержанием» [4]. Как показывает практика, деловые игры способны давать положительный образовательный эффект, но результат зависит от качества кейсов, сопровождения преподавателя и связи игры с другими формами обучения [6]. На рис. 1 представлен алгоритм выполнения практического задания.



Рис. 1. Алгоритм выполнения практического задания на платформе

Как показано на рис. 1, такой порядок выполнения задания исключает «игру в угадайку» ответов. Развивает навык обучающегося работать с первичными документами и приводить конкретные доказательства. Таким образом, согласно ГОСТ Р ИСО 3100-2019 «Менед-

жмент риска» оценка риска рассматривается «как часть более широкого процесса управления риском» [3] и возможности давать прогнозную оценку.

Основная часть

Проект предназначен для использования в закрытой образовательной среде вуза. Для работы цифровой платформы не требуется загрузка и обработка персональных данных согласно требованиям федеральных законов:

– от 27.07.2026 г. № 152 ФЗ «О персональных данных»;

– от 27.07.2026 г. №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [5-6].

Кейс состоит из пять «тематических локаций» и пятнадцати заданий. Все задания «подчеркивают важность совместных усилий всех участников образовательного процесса для успешной адаптации выпускников к требованиям цифровой экономики и обеспечения их профессионального развития» [7]. Каждый этап анализируется с точки зрения «финансовой устойчивости» с непосредственным представлением расчетов, оценкой правовых последствий принятия решений, сохранения заинтересованности участников и «безопасному применению цифровых технологий» [8] Для этого каждый участник получает комплект рабочих материалов, в которых содержатся данные для вычислений. После принятий решений программа выдает результаты решений обучающихся, которые хранятся на учебном компьютере в виде итогового протокола прохождения всех локаций. Эталонный ответ и перечень распространенных ошибок доступен преподавателю. Обучающиеся знакомятся с результатами после решения всех заданий.

В настоящее время, цифровая платформа позволяет развивать основные навыки и умения согласно требованиям ФГОС 38.05.01 – «Экономическая безопасность» (рис. 2).

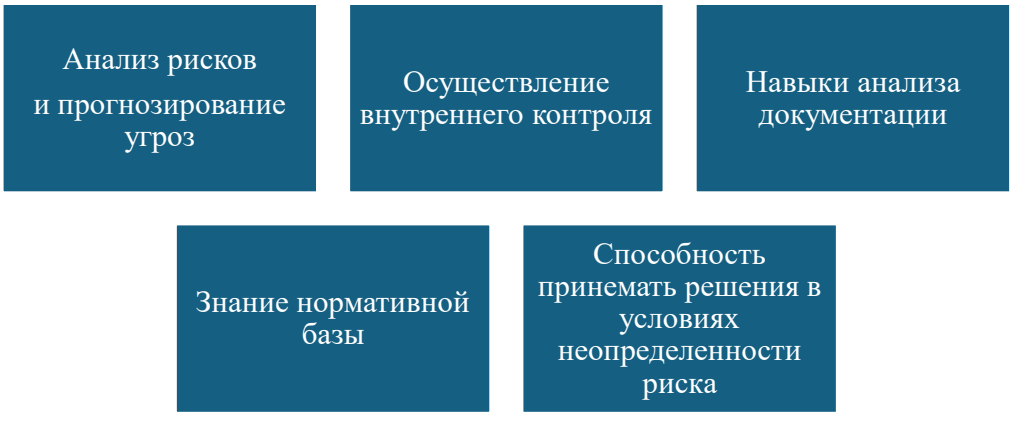


Рис. 2. Основные навыки и умения ФГОС 38.05.01 – «Экономическая безопасность» [2]

Отличие данной цифровой платформы от аналогичных программ заключается в том, что для успешного прохождения этапов, не достаточно только привести формулу или расчет, но и качественно использовать данные для расчета ущерба и возможности понимания дальнейших последствий принятого решения. Например, обучающийся не получает максимальный балл за формулу для расчета потери и оценки риска, если расчеты не подтверждены ссылками на рабочие документы. Вместе с тем, решение может быть признано обоснованным при наличии документальных подтверждений, корректных вычислений и аргументации ответа. Данный подход позволяет учитывать несколько допустимых способов решения кейсов и одномоментно сохраняет «ведущую роль преподавателя…» [9] в обсуждении полученных результатов.

Практическое применение цифровой платформы авторы отразили в практическом кейсе описания последствий чрезвычайной ситуации (рис. 3).

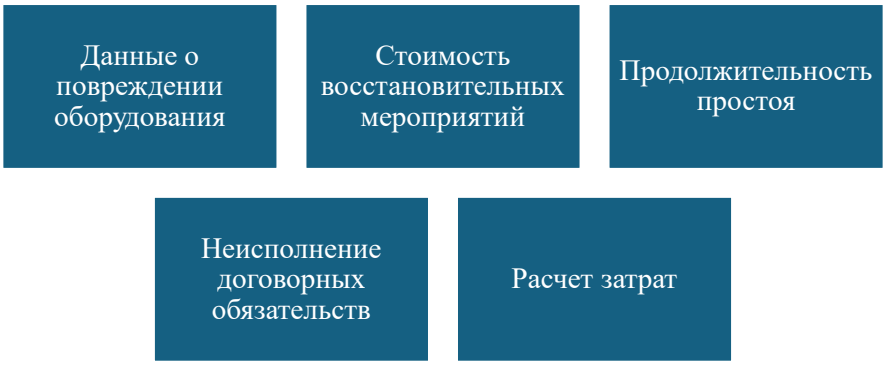


Рис. 3. Содержание информации о чрезвычайной ситуации в условной организации

Информация, представленная на рис. 3, распределена в нескольких документах, в том числе отдельные суммы относятся к одним и тем же последствиям. Задача обучающегося заключается в установлении прямых потерь, разграничении непосредственного ущерба и косвенных затрат, тем самым исключая «задвоение» расходов. Правильные значения доступны после прохождения задания и последующего разбора. В данной статье, авторы не представляют полный набор учебных документов и «скриншотов» цифровой платформы, так как они остаются в закрытой части платформы и в открытом доступе не размещены.

Представленные обучающимися решения преподаватель оценивает на основании критериев, представленных на рис. 4.



Рис. 4. Критерии оценки преподавателя

Завершающим этапом прохождения заданий является экспертная оценка того, на сколько глубоко, последовательно и убедительно обучающиеся обосновывают свою позицию принятия решения.

Заключение

Практическая значимость проекта основана на освоении различных профессиональных умениях и навыков, объединенных в один сценарий. Он приближен к реальному процессу обеспечения экономической безопасности организации. Таким образом, обучающийся не выполняет разрозненные задания по отдельным дисциплинам, а рассматривает общую картину. В результате изучаются документы, проводятся расчеты, определяются риски и правовые последствия (если таковые имеются). Благодаря разработке специализированной цифровой платформы обеспечивается взаимосвязь экономических и правовых дисциплин. Работа в условиях недостаточности информации и ограниченного времени способствует развитию целостного «профессионального мышления» [10]. Обучающиеся получают навык не только находить отдельные ошибки, но и давать оценку их влияния на деятельность организации, выбирать меры защиты экономической безопасности организации и «защищать» свою позицию.

Вместе с тем, авторы отмечают ограничение цифровой платформы. Учебные кейсы воспроизводят профессиональную деятельность в упрощенной форме. Таким образом, полностью не учитываются современные реалии и разнообразие ситуаций. Однако структура цифровой платформы позволяет добавлять модули и обновлять задания в зависимости от цели обучения.

Данный проект относится к направлению «Цифровые технологии в образовании», так как технические возможности платформы могут использоваться в рамках образовательной деятельности для отработки навыков логического мышления в профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». – URL: https://publication.pravo.gov.ru/document/0001201705150001 (дата обращения: 28.08.2026).

2. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 14.04.2021 № 293 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 38.05.01 Экономическая безопасность». – URL: https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202105240012 (дата обращения: 28.08.2026).

3. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 15 с.

4. О персональных данных: Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ (в ред. от 26.07.2026) // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (ч. 1). – Ст. 3451.2.

5. Об информации, информационных технологиях и о защите информации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (ред. от 24.06.2025) // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (1 ч.). – Ст. 3448; Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. – URL: pravo.gov.ru (дата обращения: 30.08.2026).

6. Wouters P., van Nimwegen C., van Oostendorp H., van der Spek E. D. A Meta-Analysis of the Cognitive and Motivational Effects of Serious Games // Journal of Educational Psychology. 2013. Vol. 105, № 2. P. 249–265. DOI: https://doi.org/10.1037/a0031311.

7. Петрухина, Е. В. Интеграция цифровых технологий в образование: ключевые аспекты модернизации системы образования для подготовки специалистов в цифровую экономику / Е. В. Петрухина, Н. В. Пьянова, Д. М. Ерина // Тенденции и технологии управления процессами и системами в современной экономике: Материалы III Всероссийской конференции, Орёл, 15–18 мая 2024 года. – Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2024. – С. 193-197. – EDN OWCBDG.

8. Pushmina, S. A. Digital e-learning socialization among engineering students / S. A. Pushmina, M. A. Frolova, K. A. Yakhina // Актуальные проблемы социально-гуманитарных наук и межкультурной коммуникации: язык, культура, образование и экономика : материалы Третьей международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 28–29 апреля 2022 года / Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, 2022. – P. 267-274. – EDN GCKPSZ.

9. Володченко, О. Н. Использование образовательных технологий в преподавании дисциплин по журналистике / О. Н. Володченко // Высшее образование для XXI века: роль гуманитарного образования в контексте технологических и социокультурных изменений : XV Международная научная конференция. Доклады и материалы. В 2-х частях, Москва, 14–16 ноября 2019 года / Под общей редакцией И.М. Ильинского. Том Часть 1. – Москва: Московский гуманитарный университет, 2019. – С. 126-130. – EDN WTEHOE.

10. https://www.researchgate.net/publication/254304441_The_knowledge_that_matters_in_professional_practices.

УДК 340

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СОВРЕМЕННОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Солдатова А.В., к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой теории и истории государства и права УВО «Университет управления «ТИСБИ»;
ORCID: 0009-0000-8850-3259;
Солдатов Я.В., к.ист.н., доцент кафедры теории и истории государства и права УВО «Университет управления «ТИСБИ», доцент кафедры гуманитарных и специальных дисциплин Казанского института (филиала) ФГБОУ ВО «Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России)», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-0145-2682

THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN SOLVING THE PROBLEMS OF MODERN HIGHER EDUCATION

Soldatova A.V., PhD in Law, Associate Professor, Head of the Department of Theory and History of State and Law, TISBI University of Management;
ORCID: 0009-0000-8850-3259;
Soldatov Ya.V., PhD in Historical Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and History of State and Law, TISBI University of Management, Kazan Institute (Branch) of the All-Russian State University of Justice (Russian Law Academy of the Ministry of Justice of the Russian Federation), Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-0145-2682

Аннотация

В статье на основе анализа положений действующего законодательства и данных опроса организаций-пользователей технологий искусственного интеллекта рассматриваются социальные, экономические и иные аспекты значимости данных технологий для развития и повышения эффективности различных видов деятельности, в том числе научно-исследовательской. Поскольку подготовка научных кадров и объединение науки и образования входят в перечень задач высшей школы, авторы останавливают внимание на вспомогательном потенциале искусственного интеллекта, способного ускорять процесс научных исследований и повышать их эффективность. При этом отмечено, что обратная сторона внедрения новых когнитивных технологий в сферу высшего образования заключается в проблемах, с которыми сталкиваются учреждения высшего образования, а именно угроза качеству образования ввиду большой вероятности появления проблем с формированием необходимых компетенций, в первую очередь, связанных с развитием когнитивных способностей обучающихся. В этой связи актуализируются вопросы правовой регламентации использования искусственного интеллекта при выполнении учебных и научно-исследовательских работ. Отмеченная проблема имеет многоаспектный характер (правовой, этический, педагогический, технологический), что обусловливает потребность обращения к междисциплинарному методологическому подходу при ее изучении и выработке возможных вариантов ее решения. Учитывая преемственность всех уровней высшего образования, а также значение формирования когнитивных компетенций (готовность к познавательной деятельности, критическое мышление, непрерывное саморазвитие и т.д.) для подготовки будущих кадров высшей квалификации, способных осуществлять самостоятельные научные исследования, формулируется вывод о необходимости усиления регуляторного воздействия государства на данную сферу. При этом регуляция не должна быть

направлена на отказ от традиционно эффективных форм учебно-научно-исследовательской деятельности, формирующей перечисленные умения и навыки. Целесообразным является установление на законодательном уровне четких ограничений по использованию технологий искусственного интеллекта при их выполнении, предоставление профессорско-преподавательскому составу информационно-программного обеспечения для осуществления контроля за соблюдением данных правовых норм. По мнению авторов, такой подход будет способствовать одновременному решению ряда социально значимых задач – цифровизации образования и науки без ущерба для развития умений и навыков научного мышления.

Ключевые слова: высшее образование, научные исследования, искусственный интеллект, когнитивные компетенции, правовое регулирование

Abstract

Based on the analysis of current legislation and survey data from organizations using artificial intelligence technologies, the article examines the social, economic, and other aspects of the significance of these technologies for the development and improvement of the effectiveness of various types of activities, including scientific research. Since the training of scientific personnel and the integration of science and education are among the tasks of higher education, the authors focus on the auxiliary potential of artificial intelligence, which can accelerate the process of scientific research and improve its efficiency. At the same time, it has been noted that the downside of introducing new cognitive technologies into higher education lies in the problems faced by higher education institutions, namely the threat to the quality of education due to the high probability of problems arising with the formation of necessary competencies, primarily those related to the development of students' cognitive abilities. In this regard, issues of legal regulation of the use of artificial intelligence in educational and research activities are becoming increasingly relevant. This problem has a multifaceted nature (legal, ethical, pedagogical, and technological), which determines the need to turn to an interdisciplinary methodological approach in studying it and developing possible solutions. Taking into account the continuity of all levels of higher education, as well as the importance of forming cognitive competencies (readiness for cognitive activity, critical thinking, continuous self-development, etc.) for training future highly qualified personnel capable of conducting independent scientific research, it is concluded that the state should strengthen its regulatory influence on this sphere. At the same time, this regulation should not be aimed at abandoning traditionally effective forms of educational, scientific and research activities, which form the listed skills and abilities. It is advisable to establish clear restrictions on the use of artificial intelligence technologies at the legislative level, and to provide professors and teaching staff with information and software to monitor compliance with these legal norms. According to the authors, such an approach will contribute to the simultaneous solution of a number of socially significant tasks, such as the digitalization of education and science without compromising the development of skills and abilities of scientific thinking.

Keywords: higher education, scientific research, artificial intelligence, cognitive competencies, legal regulation

Введение

В настоящее время российский социум находится в активном процессе перехода на новую стадию своего социально-экономического развития – общество знаний. Данный этап характеризуется тем, что знания становятся основным детерминантом социального, экономического, культурного прогресса. Вместе с тем, и фундаментальные, и эмпирические знания непрерывно обновляются благодаря проводимым научным изысканиям. В современных условиях интенсивного внедрения цифровых технологий во многие сферы деятельности человека искусственный интеллект является одним из наиболее перспективных видов технологий, спо-

собных интенсифицировать научную деятельность, повышая эффективность эвристической и иных функций современной науки.

Стоит отметить, что государство достаточно оперативно реагирует на динамичные процессы цифровизации, стимулируя разработку и внедрение технологий искусственного интеллекта во все социально значимые сферы деятельности. Реализуется большое количество пилотных проектов, разрабатываются и апробируются экспериментальные правовые режимы, совершенствуется нормативно-правовая база. Все принимаемые меры уже демонстрируют положительный эффект. Так, по данным Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, в число наиболее значимых результатов применения ИИ-технологий организациями-пользователями в 2024 г. вошли повышение качества и эффективности бизнес- и производственных процессов, увеличение доходов и числа клиентов, рост производительности труда, повышение качества продукции и услуг [4].

Приведенные данные подтверждают правильность и своевременность проводимой государством политики. Однако дальнейший технологический прогресс не представляется возможным без развития научных исследований, следовательно, и без подготовки высококвалифицированных научных кадров. Основная нагрузка в данной сфере возложена на образовательные организации высшего образования (подготовка более 86% аспирантов осуществляется в вузах), которые вынуждены функционировать в условиях отсутствия правовой регламентации использования технологий искусственного интеллекта в образовательном процессе, включающем в себя и элементы научно-исследовательской деятельности обучающихся. В профессиональном научно-педагогическом сообществе высказываются серьезные опасения о возможных вредных последствиях широкого использования новых технологий для процесса формирования компетенций будущих специалистов.

Обозначенные вопросы ставят перед исследователями различных отраслей научного знания, в том числе теории права, новые поисковые задачи. В частности, требует решения проблема гармоничного сочетания технологизации процесса обучения с необходимостью сохранения и развития традиционных для высшего образования умений и навыков, в первую очередь, когнитивных. В данной статье будет предпринята попытка определения отдельных проблем использования технологий искусственного интеллекта в образовательном процессе и их влияния на подготовку кадров высшей квалификации, а также обозначение места данных технологий в системе задач высшего образования.

Методика

Многогранность рассматриваемых проблем определяет объективную необходимость использования совокупности научных способов и приемов познания. Интенсификация процессов цифровизации высшего образования и тесно связанной с ним научной деятельности, с одной стороны, способна повысить их скорость и качество, с другой стороны, может представлять для них серьезную угрозу. Это реактуализирует обращение к традиционным всеобщим методам научного поиска – диалектике и материализму в комплексе с общенаучными (логическим и функциональным) и также собственно-юридическими методами (формально-юридическим, правовым моделированием и др.). Исследуемая проблематика имеет мультикомпонентный характер, поскольку в ней сочетаются этический, правовой, культурный, технологический и иные аспекты, что определяет необходимость использования методологии междисциплинарности.

Основная часть

Одним из наиболее резонансных и устойчивых трендов развития высшего образования в последние годы стало внедрение и использование в образовательном процессе технологий искусственного интеллекта. Это в полной мере отвечает запросам общества и государства на подготовку высококвалифицированных специалистов, обладающих наряду с традиционными новыми цифровыми компетенциями. Для решения данной задачи при активном участии

Министерства науки и высшего образования РФ [см. 2] совершенствуется содержание образовательных программ по всем направлениям подготовки в части их наполнения цифровым контентом.

Положительный эффект от данных нововведений уже ощутили на себе как преподаватели (снижение нагрузки за счет выполнения рутинных задач с помощью цифровых инструментов, освобождение времени для научного и педагогического творчества, повышение эффективности аналитической работы в части усвоения учебного материала и т.д.), так и студенты (повышение скорости и объективности оценки учебных работ, удобство и быстрота выполнения отдельных видов заданий и др.).

В отечественной и зарубежной научной литературе отмечается и такой позитивный эффект от применения новых технологий в образовании, как повышение динамичности и персонализации образовательных программ и схем обучения студентов, повышение мотивации обучающихся [3].

Однако, как отмечалось нами в других работах, приведенные в качестве примера аспекты внедрения искусственного интеллекта в образовательный процесс в высшей школе, в целом, относятся к его организационным аспектами его техническому обеспечению, что оправдывает стимулирующие, рекомендательные и обязывающие методы правового регулирования данной сферы [6, с. 1598].

Вместе с тем, в профессорско-преподавательской среде возникают не безосновательные опасения по вопросу снижения качества образования ввиду того, что процесс использования технологий искусственного интеллекта обучающимися становится практически не контролируемым. В отдельных случаях «участие» искусственного разума в выполнении заданий достигает стопроцентного показателя. Возникает закономерный вопрос, кто в данном случае является субъектом обучения. Ответ на него должен быть однозначным – подмена естественного интеллекта студента искусственным не допустима. Отчасти подтверждает данный тезис и законодатель, определяя искусственный интеллект как «комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека». [1] Исходя из анализа данной дефиниции можно заключить следующее: во-первых, ИИ не может заменить когнитивные функции человека, а только имитировать их, во-вторых, ИИ – это технологическое решение, то есть инструмент, основное предназначение которого – помощь человеку в выполнении определенного рода задач (как правило, рутинных, объемных, технических и проч.). Следовательно, подход к пониманию сущности, назначению, сферы и пределов применения данных технологий в высшем образовании должен базироваться на этих основных положениях, получивших законодательное закрепление. Учитывая сказанное, новой задачей высшего образования является формирование у обучающихся цифровых компетенций, предполагающих в числе прочего умение использовать цифровые технологии в будущей профессиональной деятельности в целях повышения ее эффективности.

Как известно, одно из ключевых отличий высшего образования от иных уровней состоит в единстве науки и образования, в освоении студентами знаний, умений и навыков, позволяющих осуществлять самостоятельную познавательную, научно-исследовательскую деятельность. Достижение этой цели происходит поэтапно и обеспечивается в числе прочего преемственностью уровней высшего образования. В соответствии с данным принципом формулируются и компетенции, которые должен освоить будущий высококвалифицированный специалист на каждой стадии образования. Когнитивная компетентность при этом выполняет ключевую роль.

В контексте рассматриваемой проблематики глубокую озабоченность научно-педагогического сообщества вызывают инициативы общественных и государственных деятелей,

направленные на упразднение отдельных видов учебных работ, сочетающих элементы самостоятельной научно-поисковой деятельности студентов (к примеру, курсовые и выпускные квалификационные проекты). Аргументируются подобные предложения утратой данными формами обучения своего значения из-за широко распространившейся практики их выполнения с помощью искусственного интеллекта. Позволим себе отметить, что для многих направлений подготовки такие научно-исследовательские проекты представляют основной инструмент формирования когнитивных компетенций, подготовки студентов к переходу на следующую ступень высшего образования. Стоит обратить внимание и на тот факт, что устные опросы и беседы – наиболее эффективный способ оценивания знаний, а не умений и навыков, необходимых для самостоятельного ведения научного поиска. Как следствие, высока вероятность негативных последствий одобрения таких инициатив, как для формирования когнитивной компетентности студентов, так и для выполнения задач высшего образования, в целом.

Как справедливо отмечается в научной литературе, «ИИ позволяет повысить эффективность научно-исследовательской работы студентов, научную грамотность, собственный интеллект, тьютерское сопровождение и реализовать индивидуальную поддержку когнитивного развития личности студента» [5, с. 363]. Для реализации такого потенциала необходим продуманный подход, не отмена научно-исследовательских проектов, а разработка новых правил и требований к их выполнению. Цифровые когнитивные технологии могут быть полезны для развития исследовательских способностей студентов, если они используются в целях ускорения поиска и обработки информации, то есть автоматизации выполнения трудоемких задач. Формирование данных умений и навыков – актуальная функция современного высшего образования.

Не стоит забывать и о том, что осуществление названной функции сопряжено с решением многих проблем этического характера, среди которых уже традиционно называются прозрачность и объяснимость решений, принимаемых искусственным интеллектом, справедливость и предвзятость использования данных технологий, цифровое неравенство как среди студентов, так и среди высших учебных заведений, трансформация роли преподавателя в связи автоматизацией образовательного процесса, недостаточная изученность последствий использования искусственного интеллекта для психоэмоционального состояния учащихся и др. [6, с. 40-41].

Этический аспект использований ИИ-технологий актуализирует проблему повышения уровня культуры, в целом, правовой культуры и цифровой культуры, в частности. Участники образовательного процесса должны обладать цифровой грамотностью, знаниями и умениями в сфере информационной безопасности, а также цифровой и научной этики [7, 8].

Не менее важным условием реализации новых задач высшего образования становится предоставление свободного доступа всему профессорско-преподавательскому составу к информационно-программному обеспечению, позволяющему осуществлять объективный автоматизированный контроль за соблюдением студентами требований к возможному использованию технологий искусственного интеллекта при выполнении учебно-исследовательских работ.

Выводы

Вызовы, с которыми сталкивается современное российское общество, предопределяют неизбежность дальнейшей цифровизации основных сфер жизни социума, включая высшее образование и науку. Быстротечность процессов внедрения технологий искусственного интеллекта в данные области человеческой деятельности обусловливают определенные трудности выбора регуляторных механизмов. В научно-педагогическом сообществе сформировался запрос на решение проблемы «злоупотребления» обучающимися правом использовать технологии искусственного интеллекта при выполнении определенных видов учебных и науч-

но-исследовательских работ. Ответ на данный запрос, как видится, требует тщательной проработки и не должен сводиться к отмене отдельных видов учебной деятельности, поскольку все они задействованы в формировании компетентности будущих специалистов, особенно когнитивной. В качестве возможного варианта преодоления возникших сложностей можно предложить введение правовых ограничений на применение таких технологий с установлением максимальных значений при условии их использования как рабочего инструмента при решении определенных профессиональных задач. В этой связи потребуется дополнение норм о требованиях, предъявляемых к реализации образовательных программ высшего образования – наличие в учреждениях высшего образования информационно-программного обеспечения, доступного профессорско-преподавательскому составу для проверки соответствия работ студентов нормативным предписаниям. В противном случае возникает угроза самой сути высшего образования – единству науки и образования.

Список литературы

1. Федеральный закон от 24 апреля 2020 г. № 123-ФЗ «О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта в субъекте Российской Федерации – городе федерального значения Москве, об особенностях обработки персональных данных при формировании региональных составов данных и предоставления доступа к региональным составам данных и внесении изменений в статьи 6 и 10 Федерального закона «О персональных данных» (с изменениями и дополнениями) // СПС ГАРАНТ (дата обращения 12.06.2026).

2. Письмо Министерства науки и высшего образования РФ от 14.06.2023 г. № МН-5/179660 «О направлении модуля» [Электронный ресурс] – URL: https://fgosvo.ru/uploadfiles//metod/Ps_MON_5_179660_14062023.pdf.

3. Talgatuly, Z. The artificial intelligence in Kazakhstan: reshaping pedagogical strategies in higher education / Z. Talgatuly // Sciences of Europe. – 2023. – No. 128(128). – P. 83-87.

4. Официальный сайт Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ [Электронный ресурс] – URL: https://issek.hse.ru/news/1083541394.html.

5. Достоинства, риски и принципы применения искусственного интеллекта в высшем образовании / Т. А. Кузовкова, Е. В. Ваховский, О. И. Шаравова, И. М. Шаравов // Век качества. – 2025. – № 4. – С. 351-377. – EDN XDMTGA.

6. Солдатова, А. В. Этико-правовые основы использования технологий искусственного интеллекта в высшем образовании / А. В. Солдатова, Я. В. Солдатов // Международный форум Kazan Digital Week – 2025 : Сборник материалов, Казань, 17–19 сентября 2025 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2025. – С. 1596-1601. – EDN AUMYKP.

7. Солдатов, Я. В. Информационное пространство как фактор формирования современной правовой культуры / Я. В. Солдатов, А. В. Солдатова // Державинские чтения : Сборник статей XIV Международной научно-практической конференции, Казань, 12–14 сентября 2018 года / Отв. редактор О.И. Александрова. – Казань: Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России), 2019. – С. 56-58. – EDN VMWRDE.

8. Черкасова, М. А. Цифровая культура и искусственный интеллект в высшем образовании: вызовы и перспективы / М. А. Черкасова, К. В. Черкасов // Искусственный интеллект и духовная культура : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Москва, 30 октября 2024 года. – Санкт-Петербург: ООО Издательский дом «Сциентиа», 2025. – С. 204-208.

УДК 372.881.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОММУНИКАТИВНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ОБУЧЕНИЯ КИТАЙСКОМУ ЯЗЫКУ

Степанова З.Р., ассистент преподавателя китайского языка кафедры «Иностранные языки в профессиональной коммуникации»;
ORCID: 0009-0002-7210-7408;
Валеева Р.З., к.пед.н., доцент, заведующий кафедрой иностранных языков в профессиональной коммуникации ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова», г. Казань, Россия

USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO DEVELOP COMMUNICATIVE COMPETENCE IN THE INITIAL PHASE OF LEARNING THE CHINESE LANGUAGE

Stepanova Z.R., Assistant Professor of Chinese Language at the Department in Professional Communication;
ORCID: 0009-0002-7210-7408;
Valeeva R.Z., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Foreign Languages in Professional Communication Private Educational Institution of Higher Education Kazan Innovation University named after V.G. Timiryasov, Kazan, Russia

Аннотация

В данной статье рассматриваются теоретические и практические аспекты использования цифровых технологий для формирования иноязычной коммуникативной компетенции обучающихся. В исследовании представлены преимущества применения цифровых технологий на начальном этапе обучения китайскому языку. Особое внимание уделяется функциональным возможностям образовательной платформы Online Test Pad как инструмента развития профессиональных навыков студентов на иностранном языке. На основе анализа научных исследований обосновывается эффективность цифровых средств в процессе формирования иноязычной коммуникативной компетенции.

Ключевые слова: цифровые технологии, коммуникативная компетенция, профессионально-коммуникативная компетенция, начальный этап обучения, китайский язык, Online Test Pad

Abstract

This article discusses the theoretical and practical aspects of using digital technologies to develop foreign-language communication skills. The study presents the benefits of using digital technologies in early learning Chinese. Special attention is paid to the functional possibilities of the educational platform Online Test Pad as a tool for developing professional skills in a foreign language. Based on the analysis of scientific research, the effectiveness of digital tools in the process of formation of foreign-language communicative competence is substantiated.

Keywords: digital technologies, communication competence, professional communication competence, initial stage of education, Chinese language, Online Test Pad

Введение

В современных условиях развития мирового сообщества китайский язык все активнее проникает во все сферы человеческой деятельности. Отмечается устойчивый рост спроса на

квалифицированные кадры, которые владеют иностранными языками, достаточными для решения профессиональных задач. Указанная необходимость наиболее отчетливо проявляется в сферах международной логистики и экономической деятельности. В области логистики приоритетным является развитие компетенций молодых специалистов, включая навыки эффективного межъязыкового взаимодействия и готовность к командной работе. Учитывая тесную связь деятельности специалиста по логистике с коммуникационными процессами, высокая степень коммуникабельности выступает ключевым качеством, определяющим результативность работы. Коммуникация с зарубежными коллегами сопряжена с определенными трудностями. Языковой барьер нередко препятствует установлению эффективного контакта и поддержанию продуктивных профессиональных отношений.

Современные образовательные программы все чаще предусматривают интеграцию китайского языка с профильными дисциплинами, обеспечивая формирование компетенций, необходимых для взаимодействия с китайскими партнерами в таких областях, как прикладная экономика и финансовые технологии, управление цепями поставок, гостиничный менеджмент, и т.д.

Методика

В данной статье представлен анализ научной литературы по развитию коммуникативной компетенции в преподавании китайского языка. Известный ученый И. Л. Бим считает, что «коммуникативная компетентность в иностранном языке включает в себя способность и готовность к диалогу с носителями иностранного языка, а также процесс интеграции обучающихся в культуру изучаемого государства, что способствует более глубокому пониманию национальной культуры и развитию навыков межкультурного взаимодействия» [2, с. 159-160].

По мнению Н. Л. Гончаровой, «иноязычная коммуникативная компетенция представляет собой уровень владения техническими аспектами общения, усвоение соответствующих норм и поведенческих стереотипов, являющихся результатом образовательного процесса» [3, с. 75].

Профессиональная коммуникативная компетентность проявляется в способности человека сочетать специальные знания и коммуникативные навыки. Она является ключом к успешному решению рабочих проблем и показателем готовности профессионала действовать в соответствии с правилами и требованиями [9, с. 119].

Самым сложным в обучении китайскому языку принято рассматривать начальный этап его изучения, поскольку именно в этот период закладываются основы фонетики, лексики, грамматики, которые необходимы для дальнейшего развития коммуникативной компетенции. Необходимо отметить, что формирование профессионально-коммуникативных навыков представляет собой этап развития над базовой иноязычной коммуникативной компетенцией, закладываемой на начальном этапе обучения. Без прочного фундамента – умения слышать тоны, читать иероглифы, строить простые предложения – невозможно перейти к решению профессиональных задач: ведению переговоров с китайскими поставщиками, оформлению транспортной документации или взаимодействию с таможенными органами [4, с. 2].

Известные китайские методисты Жэнь Шаньшань, Оян Мэйхэ считают, что освоение четырехтоновой системы является одной из самых больших проблем для российских студентов. Исследования показывают, что российские студенты чаще всего допускают ошибки в произношении второго и третьего тонов, они часто путают второй с первым и третий с четвертым. Данная интонационная ошибка не только ухудшает коммуникативные навыки, но и приводит к смысловым недоразумениям [5]. Исследователь Лю Суин также отмечает, что грамматическая структура китайского языка представляет значительную сложность для русских студентов ввиду существенных различий между синтаксическими и морфологическими системами языков. Данные различия зачастую приводят к тому, что обучающиеся склонны применять принципы русской грамматики при построении предложений на китайском языке [7].

Опыт преподавания китайского языка как второго иностранного в системе среднего профессионального и высшего образования показывает, что традиционные методы обучения китайского языка не всегда позволяют в полной мере подготовить обучающихся к реальным ситуациям делового общения, что связано со спецификой фонетической и иероглифической систем изучаемого языка, а также с недостаточностью практико-ориентированных учебных материалов.

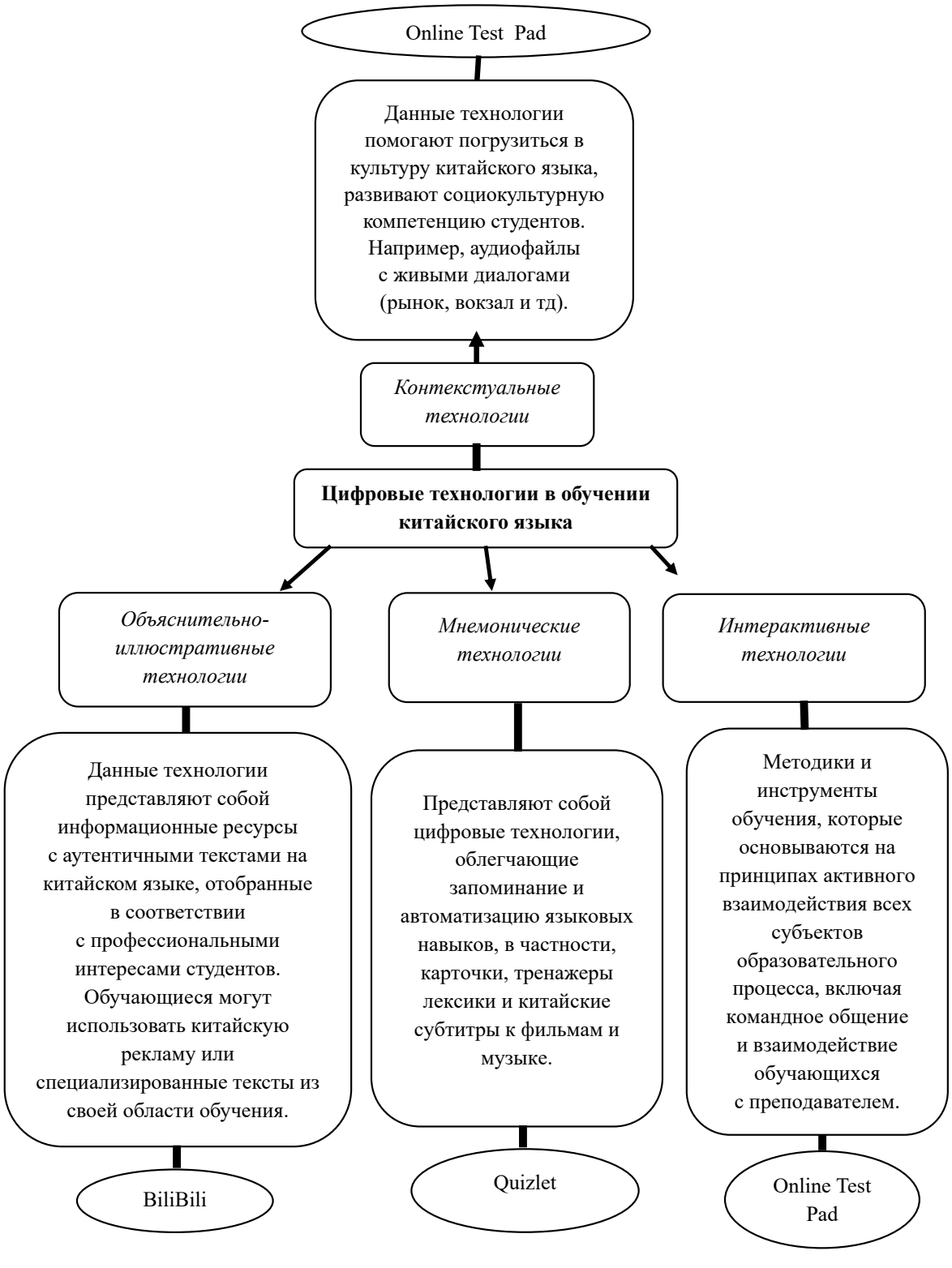


Рис. 1

Основная часть

Одним из эффективных средств достижения данной цели выступают цифровые технологии, так как они отражают интерактивность, визуализацию, а также позволяют создавать интерактивную среду, приближенную к условиям будущей профессиональной деятельности.

Цифровые технологии обеспечивают возможность создания интерактивных учебных материалов, разработки практических упражнений и тестовых заданий для внедрения в образовательный процесс. Основной целью применения данных технологий является внедрение инновационных методов обучения китайскому языку. Использование цифровых ресурсов необходимо для отслеживания академической успеваемости студентов и повышения их мотивации к изучению языка посредством систематического повторения, анализа и практического применения изученного материала [8].

Исследователь Н. Ш. Козлова отмечает, «необходимость проведения цифровой трансформации российской системы высшего образования, которая должна быть реализована прежде всего за счет повышения уровня профессиональной подготовки и освоения инновационных цифровых технологий, а также путем повсеместного внедрения электронной информационно-образовательной среды» [6, с. 87].

Геймификация образовательного процесса с использованием цифровых методов предполагает интеграцию игровых механик и соревновательных элементов в учебную деятельность для повышения мотивации и вовлеченности обучающихся. Ключевым аспектом реализации геймификации является наличие оперативной обратной связи, обеспечиваемой автоматизированной системой в режиме реального времени.

Рассмотрим наиболее актуальные типы и методы использования цифровых технологий в обучении китайскому языку по О. М. Багдулиной [1].

Платформа Online Test Pad – это бесплатный российский онлайн-сервис с русскоязычным интерфейсом. Его главная задача – помогать создавать, проводить и анализировать тесты, опросы, кроссворды, диалоговые тренажёры и комплексные задания. Опираясь на педагогический опыт преподавания по направлению «Логистика», а также учитывая результаты обучения китайскому языку как второму иностранному в Казанском инновационном университете имени В.Г. Тимирясова, можно сделать вывод о том, что данный ресурс является эффективным инструментом для реализации следующих задач на начальном этапе изучения языка (табл. 1).

Таблица 1

Использование цифровой платформы Online Test Pad

Формирование навыка	Методическая цель	Тип упражнений
Фонетика	Постановка правильного произношения тонов	1) Угадай тон (выбор тона) 2) Сопоставить звук и иероглиф
Лексика	Отработка лексических единиц и иероглифического написания	1) Составьте слово (варианты ключей на выбор) 2) Сопоставление иероглифа с переводом
Грамматика	Отработка базовых грамматических конструкций китайского языка	1)Последовательность (дан диалог, необходимо правильно восстановить последовательность реплик) 2) Заполнение пропусков (дан текст, необходимо вставить верный иероглиф)

Окончание табл. 1

Формирование навыка	Методическая цель	Тип упражнений
Организация коммуникативных ситуаций	Моделирование простых коммуникативных ситуаций	1) Выбор одного правильного ответа (предлагается ситуация, например, «Вы встречаете преподавателя утром на улице. Какую фразу выберете для приветствия?» необходимо выбрать один правильный ответ) 2) Ответ в свободной форме (обучающемуся предлагается текст, необходимо вручную ввести пропущенную фразу)

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод о том, что цифровые технологии открывают новые перспективы для развития коммуникативных навыков в рамках начального этапа изучения китайского языка. Платформа Online Test Pad представляет собой эффективный инструмент, позволяющий создавать интерактивную образовательную среду, осуществлять оперативный контроль и диагностику.

Использование данной цифровой платформы на практических занятиях по китайскому языку способствует повышению мотивации к изучению иностранного языка на начальном этапе формирования коммуникативной компетенции у обучающихся по различным направлениям подготовки в рамках системы среднего профессионального и высшего образования.

Список литературы

1. Багдулина О. М. Мультимедийные средства обучения в процессе профессиональной подготовки студентов неязыковых специальностей (на материале китайского языка) // Сибирский педагогический журнал. 2008. № 11. С. 294–298.

2. Бим И. Л. Компетентностный подход к образованию и обучению иностранным языкам // Компетенции в образовании: опыт проектирования : сб. науч. тр. / под ред. А. В. Хуторского. М. : ИНЭК, 2007. С. 156–163.

3. Гончарова Н. Л. К вопросу об иноязычных компетенциях // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия: Гуманитарные науки. 2006. № 3. С. 74–77.

4. Гурулева Т. Л. Компетенции владения китайским языком: сопоставительный анализ. URL: https://e-univers.ru/upload/iblock/c36/c362708727a063762d94e44a7b661494.pdf (дата обращения: 12.08.2026).

5. Жэнь Шаньшань, Оян Мэйхэ Роль системы фонетической транскрипции – пиньинь – в изучении новых иероглифов учащимися начального уровня китайского языка из русскоязычной среды // Этносоциум и межнациональная культура. 2023. №180. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rol-sistemy-foneticheskoy-transkriptsii-pinin-vizuchenii-novyh-ieroglifov-uchaschimisya-nachalnogo-urovnya-kitayskogoyazyka-iz. (дата обращения: 03.08.2026).

6. Козлова Н. Ш. Цифровые технологии в образовании // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2019. № 1. С. 85–93.

7. Лю Суин Особенности изучения и преподавания китайского языка как иностранного // Вестник ТГПУ. 2023. №5 (229). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-izucheniya-i-prepodavaniyakitayskogo-yazyka-kak-inostrannogo. (дата обращения: 07.08.2026).

8. Tsoy N. G., Maltseva K. G. Teaching Chinese on the base of digital platforms // International research journal. 2023. № 1 (127). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50174733 (дата обращения: 15.08.2026).

9. Швец И. А. Профессиональная коммуникативная компетентность выпускника факультета журналистики, ее структура и содержание // Вестник ЮУрГУ. Челябинск, 2010. № 12. С. 117–124.

УДК 004.8:37.01

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ГРАНИ ВОЗМОЖНОГО

Стрекалова Г.Р., к.т.н., доцент кафедры производственного менеджмента ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»;
E-mail: strekalova-9@mail.ru;
Мочалова Н.В., доцент кафедры хореографического искусства ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия;
E-mail: ninel.mochalova@mail.ru

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS: THE LIMITS OF THE POSSIBLE

Strekalova G.R., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Production Management, Kazan National Research Technological University;
E-mail: strekalova-9@mail.ru;
Mochalova N.V., Associate Professor at the Department of Choreographic Art, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia;
E-mail: ninel.mochalova@mail.ru

Аннотация

В статье проведен анализ мирового и российского рынка широкомасштабного внедрения ИИ во все сферы жизнедеятельности общества, включая образование. Представлены результаты исследования в области использования искусственного интеллекта в образовательном процессе с позиции «преподаватель & студент». В ходе исследования выделены три основных положительных аспекта – грани возможного ИИ в образовательном процессе: персонализация обучения; автоматизация рутины преподавателей; угроза утраты навыков самостоятельного мышления и анализа. Рассмотрены проблемы ИИ в образовательном процессе: использование ИИ для поиска готовых ответов, что часто улучшает оценки, но ухудшает реальные знания; зависимость от алгоритмов обращения к ИИ ведет к потере навыков самостоятельного поиска и проверки информации; риск утечки личных данных и дезинформации требует жесткого регулирования образовательного процесса. Показано, что использование ИИ в образовательном процессе открывает новые возможности: ИИ подстраивает темп и сложность заданий под каждого студента, исключая пробелы в знаниях точно в срок, безотлагательно; проверка тестовых заданий и генерация учебных планов экономят до 40% времени преподавателей; преобразование речи в текст и адаптация материалов помогают студентам с ОВЗ. Взвешивая все плюсы и риски использования ИИ в образовательном процессе, отмечено, что позитивному эффекту обеспечения быстрого доступу к структурированным данным и кодингу противостоит угроза списывания и отказ от самостоятельного решения задач; позитивному эффекту снижения административной нагрузки противостоит негативный риск сокращения живого контакта в обучении; позитивному эффекту оценки знаний противостоит угроза невозможности проверить подлинность приобретенных навыков стандартными методами. В результате исследования доказано, что активное внедрение ИИ в образовательную деятельность ускоряет процессы приобретения знаний, их закрепление и реализацию в практике. Однако использование ИИ в образовательном процессе должно оставаться вспомогательным инструментом, а не заменой когнитивной работе человека.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образование, процесс, грани, возможность, цифровизация, общество, развитие, преподаватель, студент

Abstract

The article analyzes the global and Russian markets of large-scale AI implementation in all spheres of society, including education. The results of a study on the use of artificial intelligence in the educational process from the perspective of "teacher & student" are presented. The study identifies three key aspects – representing the potential scope of AI in education – namely: personalization of learning, automation of routine tasks for teachers, and risk of losing independent thinking and analytical skills. The problems of AI in the educational process are considered: using AI to obtain ready-made answers which often improves grades but undermines actual knowledge; reliance on AI-driven algorithms leads to a loss of skills in independently searching for and verifying information; and the risks of personal data leaks and misinformation requires strict regulation of the educational process. It is shown that the use of AI in the educational process opens up new opportunities: AI adapts the pace and complexity of assignments to each student, addressing knowledge gaps promptly and without delay; checking test tasks and generating curricula saves up to 40% of teachers' time; speech-to-text conversion and adaptation of materials help students with disabilities. Weighing all the pros and risks of using AI in the educational process, it is noted that the positive effect of providing quick access to structured data and coding is counterbalanced by the threat of cheating and refusal to solve problems independently; the positive effect of reducing administrative burden is counterbalanced by the negative risk of reducing live contact in learning; the positive effect of knowledge assessment is counterbalanced by the threat of the impossibility of verifying the authenticity of acquired skills by standard methods. Research has demonstrated that the active integration of AI into educational activities accelerates the processes of knowledge acquisition, consolidation, and practical application. However, the use of AI in the educational process should remain a supplementary tool rather than a substitute for human cognitive effort.

Keywords: artificial intelligence, education, process, facets, possibility, digitalization, society, development, teacher, student

Современный этап развития экономики и общества в целом характеризуется активной цифровизацией и глобализацией явления, в котором определяющую роль играют знания, информация и высокие технологии, то есть процессы, охватывающие все сферы жизнедеятельности и меняющие привычные модели ведения бизнеса. Ведущими элементами цифровизации общественного развития при этом становятся использование искусственного интеллекта (далее – ИИ) и переход на облачные системы, позволяющие не только автоматизировать решение рутинных задач, но и глобализировать транснациональные связи и обмен ресурсами в мировом рыночном пространстве. [1]

Цифровизация и ИИ, как главные ресурсы, затрагивают все сферы общественного развития, в том числе и сферу образования, в которой происходят передача знаний, развитие навыков и социализация личности. Сфера образования охватывает не только обучение и воспитание человека общества, но и профессиональную его подготовку на протяжении всей жизни [2].

В свете изложенного, рассмотрение граней возможностей ИИ в образовательном процессе наряду с вопросами непрерывного обучения и подготовки кадров в вузе, гибко реагирующих на вызовы общества в быстроменяющемся пространстве, актуализирует тему, выбранную к исследованию.

Методами исследования, используемыми для достижения результата, стали аналитико-экономический, абстрактно-логистический, системный подход, статистический анализ, метод сравнения и опросов.

В качестве введения пройдем путь от общего к частному и рассмотрим развитие искусственного интеллекта начиная с мирового уровня.

Согласно исследованиям ведущих агентств, специализирующихся на оценке прогнозов развития глобальных рынков IT, мировой рынок ИИ активно развивается (табл. 1) [3].

Согласно данным табл. 1, мировой рынок искусственного интеллекта в образовании в 2026 г. оценивается с темпами прироста 36 до 41%, а в 2030 г. темпы прироста мирового рынка ИИ по прогнозам внушительны. Так например, по данным агентства Grand View Research общий объем денег, которые тратят компании и государства на покупку технологий ИИ, включая разработку ПО, покупку серверов и чипов, а также IT-услуги в 2026 г. составляет порядка 539,5 млрд долларов [3].

Таблица 1

Оценка развития мирового рынка ИИ в образовании ведущими исследовательские агентствами в млрд.$

Ведущие агентства	2025 г.	2026 г (прогноз)	Темп прироста 2026/2025, % (прогноз)	2030 г. (прогноз)	Темп прироста, 2030/2025 % (прогноз)
Grand View Research	8,3	11,4	37,3	57,2	589,2
Precedence Research	7,05	9,58	35,9	136,79	1840,3
Research and Markets	7,52	10,6	40,96	42,48	464,9

Ключевыми драйверами мирового рынка ИИ являются

– Северная Америка, которая удерживает до 38% доли, а регион Азиатско-Тихоокеанского региона демонстрирует самые быстрые темпы роста;

– большая доля доходов формируется сферой высшего образования и корпоративного обучения, активно внедряющих интеллектуальные системы оценивания;

– как технологическая основа доминируют решения на базе машинного обучения и инструменты обработки естественного языка (NLP) для виртуальных помощников и интерактивных тренажеров.

Такой прогноз развития ИИ предполагает стремительное его вторжение во все отрасли и необходимость обучению ИИ (искусственный интеллект – это свойство компьютерных систем, позволяющее выполнять творческие и логические задачи, которые ранее требовали участия человека, а сегодня обучение искусственному интеллекту необходимо для повышения личной продуктивности, сохранения конкурентоспособности на рынке труда и освоения новых междисциплинарных навыков). Так, например, понимание нейросетей помогает быстрее справляться с рутиной, принимать точные решения на основе данных и адаптироваться к быстро меняющимся технологиям, то есть искусственный интеллект позволяет в большом объеме данных найти зависимости, которые человеку или заданным формулам могут быть незаметны, заменит человека в повторяющихся действиях и найдет закономерности там, где обычные программы окажутся бессильными [4].

В табл. 2 представлена динамика показателей онлайн-школ, обучающих работе с ИИ в Российской Федерации. [5]

Как следует из представленных в табл. 2 данных, рынок онлайн-образования в сфере ИИ за два года демонстрирует рост в 4 раза, образовательных ИИ-проектов в 2,8 раза.

Спрос на курсы по работе с ИИ за два года вырос в 2,46 раза. О растущем интересе к образованию в сфере ИИ говорит показатель роста количества учеников в 2,54 раза. Оборот школ, обучающих взаимодействию с ИИ, тоже вырос, хотя и меньшими темпами, что вполне объяснимо принятием решения о снижении стоимости обучения на 10% в год, в силу обеспечения большей доступности ИИ-курсов. В целом интерес к курсам, прививающим навыки работы с ИИ, стабильно увеличивается.

Таблица 2

Динамика показателей рынка онлайн-образования в сфере искусственного интеллекта в РФ

Показатели	2023 г.	2024 г.	Темп прироста 2024/2023, %	2025 г.	Темп прироста 2025/2023, %
Онлайн-школы ИИ на портале GetCourse, шт.	9	16	77,8	36	300,0
Образовательные ИИ-проекты, шт.	6	10	66,7	17	183,3
Количество курсов по работе с искусственным интеллектом	11 292	20 053	77,6	27 744	145,7
Оборот школ ИИ, млн. руб.	290	464	60,0	572	97,2
Количество учеников в онлайн-школах ИИ, чел.	11 000	23 000	109,0	28 000	154,5
Средний чек за обучение в школах ИИ, руб.	25 600	23 040	-10,0	20 600	-19,5

Согласно источнику [6], одним из самых востребованных сфер обучения в области ИИ в 2025 г. стало направление «нейросети для начинающих», на долю которого пришлось 19,3% от общего фонда программ, создание контента с долей в 18,5%, автоматизация и оптимизация бизнес-процессов, маркетинг, работа с чат-ботами с долей 15,1%. Аналитики GetCourse также отмечают рост интереса к направлению «маркетинг с использованием технологий ИИ» в связи со спросом со стороны бизнеса на современные инструменты [6].

Таким образом, как мировой, так и российский рынок широкомасштабного вторжения ИИ во все сферы жизнедеятельности общества диктует и свои правила его эффективного использования в образовательном процессе. С одной стороны, это, безусловно, скорость обработки данных и объем памяти, с другой стороны нейросети не обладают самосознанием, эмпатией, интуицией и этическим мышлением, то есть ИИ не сможет принимать решения в принципиально новых, нешаблонных ситуациях, требующих человеческого опыта. Так ли это, попытаемся разобраться и рассмотрим вначале грани возможного или что умеет современный ИИ.

Грани ИИ определяются:

– аналитическими возможностями: высокая скорость обработки большого массива информации, включая поиск скрытых закономерностей;

– генеративными возможностями: создание текстов, изображений, программного кода, музыкального сопровождения и др.;

– научными возможностями: прогнозирование, моделирование, имитация;

– возможностями автоматизации: логистика и повседневный сервис, выполнение рутинных задач в бизнесе.

Грани возможного ИИ имеют и ряд ограничений:

– отсутствие личного опыта и истинного понимания смысла выполняемых задач, то есть нейросети бессознательно оперируют статистическими шаблонами;

– проблема «галлюцинаций», то есть нейросети уверенно выдают вымышленные факты за действительность;

– нейросети ограничены рамками вычисления, то есть зависимы от качества обучающей выборки, строгих алгоритмов и законов логики;

– технические проблемы, связанные с чрезвычайно большим потреблением энергии 24/7;

– широкий спектр правовых рисков, то есть закон как правило не признает за нейросетью авторство, возможны утечка секретов, обработка данных без согласия ведет к штрафам по законам о персональных данных, ответственность и ошибки.

Таким образом, грани возможностей ИИ определяются скоростью и мощностью обработки больших данных, но и ограничены отсутствием подлинного сознания, строгой математической вычислимостью и необходимостью контроля со стороны человека.

Рассмотрим двусторонность отношений использования ИИ в образовательном процессе с позиции «преподаватель & студент».

Какие же преимущества получает преподаватель при широком внедрении ИИ в образовательный процесс? Безусловно, это экономия времени. [7]

В данном преимуществе кроется мощный инструментарий ИИ, поскольку происходят такие его плюсы, как персонализация обучения и автоматизация рутинных операций, например:

– скорая проверка тестовых заданий с параллельным их анализом;

– автозаполнение журналов посещаемости студентов и отчетов в цифровом формате;

– запись лекций и вебинаров, а также расшифровка аудиозаписей лекции и вебинаров с переводом их в формат текста;

Помимо чисто технических сторон ускорения учебного процесса в вузе, преподаватель, используя ИИ, может:

– ускоренно разрабатывать и подготавливать плановые сценарии проведения лекционных и практических занятий, а также учебные программы по новым требованиям ФГОС;

– ускоренно разработать тесты, кейсы и упражнения разного уровня сложности, генерируя через них знания будущих профессионалов, что имеет важность для студентов с разным уровнем подготовки;

– разрабатывать иллюстрации, презентации и иные материалы для наглядного восприятия текстового сообщения.

Кроме вышеперечисленного, возможности ИИ позволяют преподавателю мониторить успеваемость студентов в реальном времени за счет постоянного мониторинга процесса обучения, при этом выявлять проблемы, связанные с трудностями освоения студентами того или иного учебного материала и не откладывая на потом включать в образовательный процесс дополнительно разработанный материал для проработки сложных моментов, что создает элемент «бесшовности» образовательного процесса, то есть полноценного освоения материала, вызвавшего трудности освоения [8].

Таким образом, ключевыми направлениями преимуществ ИИ для преподавателя являются генерация учебных материалов, анализ успеваемости и снижение административной нагрузки.

Какие же преимущества получает обучающийся-студент при широком внедрении ИИ в образовательный процесс?

Опросы студентов, в выборочной совокупности 1300 обучающихся в различных вузах г. Казани (КНИТУ, КНИТУ-КАИ, КФУ, КазГИК, КИУ) ответили, что это в первую очередь персональная адаптация обучения. С этим можно согласиться, поскольку большая часть студенческой молодежи работает и им приходится все время маневрировать между подготовкой к занятиям и рабочими буднями, устанавливать гибкий график: студент может учиться в любое удобное время, получая мгновенную обратную связь от ИИ-репетитора, то есть ИИ – круглосуточная помощь для студентов в освоении материала + автоматизация рутины, связанной с учебным процессом. Инструментарий ИИ работает для студента как цифровой ассистент. Даже если студент пропустил занятие, у него сеть аудиозапись, он легко может перевести ее с помощью ИИ в текстовый формат удобный для конспектирования.

Таким образом, использование ИИ в образовательном процессе позволяет персонализировать обучение под уровень студента, так, например, если у студента возникли трудности с пониманием материала ИИ адаптирует сложное задание под знания студента, или нейросеть сможет достаточно простыми словами объяснить сложную тему, при этом нейросеть может анализировать ошибки и предлагать дополнительный материал для устранения пробелов в образовании. ИИ также помогает студенту структурировать информацию, помогает составить план доклада, реферата или курсовой работы. Возможности ИИ в студенческом образовательном процессе достаточно широки: нейросети могут находить баги в коде, в том числе орфографические ошибки в тексте. Нейросети могут даже предложить найденные идеи для проектов и подобрать литературу по запросу студента.

Что же получается? Одни плюсы. Если в отсутствие ИИ студент, готовя реферат к практическому занятию, мог для его выполнения воспользоваться лекционным материалом и рекомендованной литературой, потратив на это не один вечер, то с ИИ время сократиться в разы? Можно вообще положиться только на ИИ и не заморачиваться, нейросеть сделает все по заказу и в лучшем виде с новыми идеями. Преподаватель, проводя занятия, видит, как в случае вопроса в аудиторию студенты уходят в телефон, обращаясь к ИИ за ответом. Получается диалог не со студентом, а с ИИ. Так чьи знания аттестуются? Единственным способом исключения этого явления может стать пример делового совещания, где на вопросы боса придется отвечать самостоятельно. Хорошо, хоть есть дресс-код – на совещаниях присутствовать без телефонов. Может, его ввести и в вузе? Или все-таки попытаться найти другие способы активации самостоятельной мыслительной деятельности студента?

В свете изложенного отметим, что ИИ в образовании – мощный инструмент, несущий в себе как большую пользу, так и серьезные риски.

Использование ИИ в образовательном процессе делает обучение индивидуальным, но не исключает явного снижения навыков мыслительной деятельности. Если рассматривать сильные и слабые стороны образовательного процесса с ИИ, то сильными сторонами являются:

– персонализация: нейросети подстраивают скорость и сложность тем под уровень каждого студента;

– помощь преподавателям: нейросети берут на себя рутину вроде проверки тестов, создания планов занятий и генерации учебных материалов;

– доступность: занятия в онлайн-формате в любое удобное время;

– интерактивность: ИИ действует как личный репетитор, который объясняет сложные правила простым языком и отвечает на вопросы 24/7.

Слабыми сторонами являются:

– снижение мыслительной деятельности: студенты могут перестать думать сами и просто копировать готовые ответы от нейросетей;

– присутствие ошибок: ИИ часто уверенно выдает непроверенные факты за истину, дезинформируя студента;

– уход от живого общения: снижается уровень социализации личности, ее адаптации и контакта с реальными товарищами, друзьями и преподавателями;

– проблема списывания: старые методы проверки знаний через рефераты и эссе больше не работают, преподавателям приходится менять формат заданий.

Из перечисленных слабых сторон использования ИИ в образовательном процессе наибольшее опасение вызывает снижение мыслительной деятельности. Добавим, что биологический мозг человека не успевает за эволюцией ИИ в скорости обработки данных и объеме памяти, но сохраняет превосходство в адаптивности, понимании контекста и энергетической эффективности. Биологическая эволюция занимает миллионы лет, тогда как цифровые технологии обновляются ежегодно. Вот в этом-то и заключаются опасения, что, передавая все на откуп ИИ, человек потеряет свою способность думать, и если это произойдет, то кто же тогда

будет создавать нейросети? ИИ? Сам себя? Конечно же, использование ИИ – для быстрого решения рутинных операций, в важных решениях следует использовать свой интеллект.

Как видим, количественно и качественно выигрывают слабые стороны использования ИИ в образовательном процессе, что говорит о проблемах и рисках, которые следует выявлять, решать и минимизировать. Колесо истории не повернуть в обратную сторону, ИИ – реальность и будущее за его активным использованием [9].

Для подготовки высокопрофессионального специалиста, востребованного на рынке труда и не только российском, следует принять инструменты ИИ, встроить их в образовательный процесс, таким образом, чтобы слабые стороны использования ИИ в образовательном процессе стали сильными преимуществами.

Попробуем сравнить не сравнимое: «ИИ & человек»:

– ИИ обрабатывает терабайты информации за секунды;

– скорость нервного импульса в человеческом теле не превышает 120 м/с;

– мозг человека гибко перестраивается в новых условиях без переобучения на гигантских датасетах;

– ИИ требует мегаватты энергии для дата-центров;

– человеческий мозг тратит всего около 20 Вт;

– ИИ ищет шаблоны, а человек осознает смыслы и чувствует контекст.

Пора делать предварительные выводы: преподавателям ИИ помогает готовить учебные материалы, проверять студенческие работы и придумывать новые способы подачи информации, заменив длительные часы составления тестов на загрузку в нейросеть тему занятий, которая сама подготовит контрольные вопросы и даже варианты ответов.

Понимание четырех основных областей ИИ от машинного обучения к обработке естественного языка, компьютерного зрения и робототехники на основе использования экспертных систем – все это становится начальным шагом к стратегическому внедрению ИИ.

Потребность ИИ в образовании обусловлена его способностью улучшать процесс обучения и методы преподавания, а также делать образование более доступным для всех. ИИ анализирует успеваемость учащихся и предоставляет индивидуализированные решения для обучения, используя данные, алгоритмы и машинное обучение. Понимание нейросетей – это работа с естественными языками: голосовые помощники и интерфейсы. [10]

Итак, выводы по исследованию: проведенный экскурс в проблематику широкомасштабного использования ИИ в образовательном процессе показал широкие грани возможностей и потенциал технологий, ключевые преимущества и возможные риски.

В ходе исследования выделены три основных положительных аспекта:

– персонализация обучения;

– автоматизация рутины преподавателей;

– угроза утраты навыков самостоятельного мышления и анализа.

Но есть и проблемы:

– студент использует ИИ для поиска готовых ответов, что часто улучшает его оценки, но ухудшает реальные знания;

– зависимость от алгоритмов обращения к ИИ ведет к потере навыков самостоятельного поиска и проверки информации;

– риск утечки личных данных и дезинформации требует жесткого регулирования образовательного процесса.

Однако использование ИИ в образовательном процессе открывает новые возможности:

– ИИ подстраивает темп и сложность заданий под каждого студента, исключая пробелы в знаниях точно в срок, не откладывая на потом;

– проверка тестовых заданий и генерация учебных планов экономят до 42% времени преподавателей;

– преобразование речи в текст и адаптация материалов помогают студентам с ОВЗ.

Взвешивая все плюсы и риски использования ИИ в образовательном процессе и граней возможного, отметить, что позитивному эффекту как обеспечению быстрого доступа с помощью ИИ к структурированным данным и кодингу противостоит угроза списывания и отказ от самостоятельного решения задач; позитивному эффекту как снижение административной нагрузки противостоит негативный риск сокращения живого контакта и эмпатии в обучении; пользы оценки знаний как объективной аналитики процесса угрозы невозможности проверить подлинность приобретенных навыков стандартными методами.

Резюме: ИИ должен оставаться вспомогательным инструментом, а не заменой когнитивной работе человека. Образовательным организациям, вузам следует менять формат проверочных заданий (например, переходить на решение кейсов, устные ответы, проектные работы с презентацией) и обязательно обучать студентов цифровой грамотности.

Список литературы

1. Strekalova G. Vectors of digitalization and IT – technologies in agriculture of the republic of Tatarstan / G. Strekalova, S. Kurbanov, S. Strekalova // В сборнике: AIP Conference Proceedings. 1. Сер. “I International Conference ASE-I – 2021: Applied Science and Engineering, ASE-I 2021”, 2021. – С. 040013.

2. Стрекалова, Г. Р. Цифровые технологии и искусственный интеллект в повышении качества образовательного процесса вуза / Г. Р. Стрекалова, Н. В. Мочалова // Вестник НЦБЖД. – 2024. – № 3 (61). – С. 147-156.

3. Искусственный интеллект (мировой рынок): [Электронный ресурс]: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82_(%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA) (дата обращения 10.07.2026).

4. Алтемирова, Х. С. Искусственный интеллект и возможности его применения в разных сферах жизни / Х. С. Алтемирова // Молодой ученый. – 2023. – № 48 (495). – С. 5-7.

5. Российский рынок онлайн-образования в сфере ИИ демонстрирует рекордный рост [Электронный ресурс] – URL: https://www.forbes.ru/education/543382-rossijskij-rynok-onlajn-obrazovania-v-sfere-ii-demonstriruet-rekordnyj-rost (дата обращения 10.07.2026).

6. Перспективы рынка онлайн-образования в сфере искусственного интеллекта в России: [Электронный ресурс] – URL: https://ruinformer.com/page/perspektivy-rynka-onlajn-obrazovanija-v-sfere-iskusstvennogo-intellekta-v-rossii (дата обращения 10.07.2026).

7. Понимание важности искусственного интеллекта в образовании для учащихся и преподавателей: [Электронный ресурс] – URL: https://vishwankarschool.com/importance-of-ai-in-education/#:~:text=The%20impo rtance%20of%20AI%20in%20education%20stems%20from%20its%20ability,%2C%20algorithms%2C%20and%20machine%20learning. (дата обращения 10.07.2026).

8. Стрекалова, Г. Р. «Бесшовное» обучение в повышении качества образования / Г. Р. Стрекалова // Управление устойчивым развитием. – 2021. –№ 1 (32). – С. 103-108.

9. Об утверждении Стратегии в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления РТ (с изменениями на 16 мая 2023 года) (в ред. Постановлений КМ РТ от 04.06.2022 N 520, от 09.07.2022 № 661, от 16.05.2023 № 597): [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/574865232 (дата обращения 12.06.2024).

10. Весьма гибок и проактивен: Татарстан стал самым «цифровым» регионом в России: [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tatar-inform.ru/news/vesma-gibok-i-proaktiven-tatarstan-stal-samym-cifrovym-regionom-v-rossii-5881000 (дата обращения 10.07.2026).

УДК 37.018.43:004:338.43

ЦИФРОВАЯ ЭКОСИСТЕМА ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННЫХ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕПОЧЕК: КОМПЕТЕНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ

Ташбаев И.О., к.э.н., Ташкентский университет прикладных наук, г. Ташкент, Узбекистан

A DIGITAL ECOSYSTEM OF ENTREPRENEURSHIP EDUCATION FOR VERTICALLY INTEGRATED AGRO-INDUSTRIAL VALUE CHAINS: VALUE-ADDED MANAGEMENT COMPETENCIES

Tashbaev I.O., Ph.D. (Econ.), Tashkent University of Applied Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Аннотация

В статье предлагается переориентировать цифровую трансформацию предпринимательского образования с универсального обучения открытию малого бизнеса на подготовку участников конкретных цепочек создания стоимости. На примере хлопково-текстильного комплекса Узбекистана сформирована модель компетенций, необходимая производителю сырья, переработчику и менеджеру интегрированной структуры для принятия решений о качестве, договорах, загрузке мощностей, финансировании, трансфертных ценах, маркетинге и распределении добавленной стоимости. Предложена цифровая образовательная экосистема «обучение – моделирование – действие – данные – мониторинг», в которой слушатель работает с цифровым двойником цепочки и проходит цикл ПАКОР-М: проблема, альтернативы, критерии, оценка, решение, мониторинг. Научная новизна состоит в соединении предпринимательских и цифровых компетенций с микроэкономикой вертикальной интеграции. Результативность обучения предлагается оценивать не числом сертификатов, а качеством решений и фактическими показателями управляемой цепочки.

Ключевые слова: предпринимательское образование, цифровые компетенции, вертикальная интеграция, цепочка создания стоимости, добавленная стоимость, ПАКОР-М, бизнес-симулятор, агропромышленный комплекс, хлопково-текстильный комплекс

Abstract

This article proposes reorienting the digital transformation of entrepreneurship education from universal training for starting a small business to training participants in specific value chains. Using the example of Uzbekistan's cotton and textile complex, a competency model is developed. This model is necessary for raw material producers, processors, and managers of an integrated structure to make decisions on quality, contracts, capacity utilization, financing, transfer pricing, marketing, and value-added distribution. A digital educational ecosystem of «training – modeling – action – data – monitoring» is proposed, in which students work with a digital twin of the value chain and complete the PAKOR-M cycle: problem, alternatives, criteria, evaluation, solution, monitoring. The scientific novelty lies in the combination of entrepreneurial and digital competencies with the microeconomics of vertical integration. The proposed effectiveness of training is assessed not by the number of certificates, but by the quality of decisions and the actual performance of the managed value chain.

Keywords: entrepreneurship education, digital competencies, vertical integration, value chain, added value, PAKOR-M, business simulator, agro-industrial complex, cotton-textile complex

Введение

Предпринимательское образование часто строится вокруг универсального набора тем: бизнес-план, налоги, маркетинг, финансы и регистрация предприятия. Такой подход необходим, но недостаточен для отраслей, где предприниматель действует внутри технологически

связанной цепочки. В хлопково-текстильном комплексе ошибка одного участника влияет на результат последующих стадий: качество сырья – на выход волокна, загрузка мощностей – на себестоимость, сроки расчетов – на финансовую устойчивость производителя, а выбор конечного продукта – на величину добавленной стоимости, остающейся в регионе и стране.

Поэтому цифровизация обучения должна моделировать не отдельную фирму, а систему взаимосвязанных решений. Цель статьи – разработать цифровую образовательную модель подготовки предпринимателей и менеджеров к управлению вертикально интегрированными агропромышленными цепочками.

Теоретическая и методическая основа

Международные рамки EntreComp и DigComp полезны для описания общих предпринимательских и цифровых компетенций, однако отраслевой менеджер нуждается также в компетенциях управления цепочкой стоимости. Он должен понимать, как договор, качество, технологическая мощность, стоимость капитала и рынок влияют на результат других участников.

В исследовании используется преемственность авторской методологии принятия решений. В материалах 2002 г. решение рассматривалось как последовательность «проблема – альтернативы – критерии – оценка – решение». Для цифровой образовательной среды предлагается ПАКОР-М, где мониторинг превращает разовый выбор в цикл обучения на фактических данных. Это особенно важно для предпринимателя: экономическая компетентность проявляется не в воспроизведении определения, а в способности корректировать решение после сравнения плана и результата.

Модель отраслевых компетенций

Предлагается шесть блоков компетенций. Первый – экономика цепочки создания стоимости: расчет добавленной стоимости, маржинальности и вклада отдельных стадий. Второй – договорная координация: качество, объем, график поставки, ответственность и сроки оплаты. Третий – производственная аналитика: баланс сырья и мощностей, выход продукции, узкие места и технологические потери. Четвертый – финансы и инвестиции: оборотный цикл, сезонное финансирование, стоимость капитала, сценарная окупаемость. Пятый – цифровая прослеживаемость и данные: цифровой паспорт партии, права доступа, качество данных и кибербезопасность. Шестой – рынок и развитие: выбор глубины переработки, экспорт, бренд и готовое изделие.

Компетенции распределяются по ролям. Фермеру важны качество, договор и экономика сырья; переработчику – загрузка, выход, логистика и финансирование; интегратору – баланс интересов и инвестиционная программа; государственному специалисту – инфраструктура, стандарты данных и оценка системных эффектов. Общим языком для всех становится добавленная стоимость и проверяемые показатели цепочки (табл. 1).

Таблица 1

Блок компетенций	Что должен уметь слушатель	Цифровой продукт обучения
Экономика цепочки	рассчитать VA и узкие места	карта добавленной стоимости
Договоры	связать качество, цену, сроки и ответственность	проект договора и KPI
Производство	сопоставить сырье и мощность	баланс загрузки
Финансы	оценить денежный поток и сценарии	финансовая модель
Прослеживаемость	проектировать данные партии и доступ	цифровой паспорт
ПАКОР-М	сравнить альтернативы и провести мониторинг	решение с план-факт анализом

Цифровой симулятор цепочки и ПАКОР-М

Основным образовательным инструментом предлагается цифровой симулятор хлопково-текстильной цепочки. Слушатель получает исходные данные о площади, урожайности, качестве сырья, мощности завода, ценах, ставке кредита, затратах и спросе. Затем формулирует проблему и сравнивает альтернативы: продать сырье, заключить контракт на переработку, создать кооперацию, инвестировать в прядение, развивать ткань или готовое изделие.

Критерии включают прибыль, добавленную стоимость, ликвидность, загрузку мощностей, занятость, качество и риск. После выбора сценария симулятор показывает последствия изменения урожайности, цены, выхода волокна, срока платежа или спроса. На стадии мониторинга обучающийся объясняет расхождение плана и факта и предлагает корректировку. Таким образом, ПАКОР-М становится одновременно методом управления и педагогической технологией.

Интеграция образования с реальными цифровыми данными

Следующий уровень – использование обезличенных отраслевых данных и цифровых паспортов партий. Учебные задания могут строиться на реальных типах отклонений: задержка расчетов, расхождение лабораторной оценки, недозагрузка мощности, рост энергии на единицу продукции, изменение экспортной цены. Для защиты коммерческой тайны используются агрегированные или синтетические наборы данных.

Образовательная платформа должна хранить цифровой профиль компетенций, результаты симуляций и выполненные проекты. Микроквалификации целесообразно выдавать не за просмотр курса, а за подтвержденное действие: построенный баланс сырья и мощности, рассчитанную модель денежного потока, проект цифровой прослеживаемости или договорную схему с KPI.

Показатели результативности

Оценка образовательной программы предлагается на трех уровнях. Первый – компетентностный: способность рассчитывать и интерпретировать показатели цепочки. Второй – проектный: качество решений в симуляторе и защита сценария. Третий – экономический: применение инструмента в реальной организации, снижение ошибок, улучшение платежной дисциплины, загрузки или прослеживаемости.

Не следует напрямую приписывать обучению весь рост прибыли предприятия, поскольку на результат влияют рынок и технологии. Однако можно измерять промежуточные управленческие эффекты: сокращение времени подготовки решения, снижение числа расчетных ошибок, соблюдение договорного графика, наличие альтернативного сценария и качество мониторинга.

Институциональная реализация

Программа может реализовываться как совместный модуль университетов, отраслевых предприятий, банков и цифровых государственных платформ. Университет обеспечивает методологию и независимую оценку; бизнес – кейсы и наставников; банки – модели денежного потока и инвестиционного анализа; государственные структуры – нормативные и открытые данные.

Для преподавателей требуется отдельная подготовка по экономике цепочек, цифровой аналитике и проектному обучению. Генеративный искусственный интеллект может помогать формировать сценарии и объяснять расчеты, но итоговая оценка решений должна сохранять ответственность преподавателя и проверяемость исходных данных.

Заключение

Цифровая трансформация предпринимательского образования становится наиболее содержательной, когда она связана с реальным объектом управления. Для хлопково-текстильного комплекса таким объектом является вертикально интегрированная цепочка создания стоимости. Предложенная модель соединяет предпринимательские и цифровые компетенции с микроэкономикой договоров, загрузки мощностей, качества и распределения добавленной стоимости.

ПАКОР-М обеспечивает единый язык между исследованием, управлением и обучением: проблема формализуется, альтернативы сравниваются по критериям, решение проверяется фактическими данными. Тем самым образовательная статья непосредственно поддерживает монографическое и докторское направление исследования вертикальной интеграции.

Список литературы

1. European Commission, Joint Research Centre. EntreComp: The Entrepreneurship Competence Framework. Luxembourg, 2016.
2. European Commission. DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens. Luxembourg, 2022.
3. Закон Республики Узбекистан от 23 сентября 2020 года № ЗРУ-637 «Об образовании».
4. Указ Президента Республики Узбекистан от 8 октября 2019 года № УП-5847 «Об утверждении Концепции развития системы высшего образования Республики Узбекистан до 2030 года».
5. Указ Президента Республики Узбекистан от 5 октября 2020 года № УП-6079 «Об утверждении Стратегии "Цифровой Узбекистан – 2030"».
6. Постановление Президента Республики Узбекистан от 13 октября 2020 года № ПП-4862 «О дополнительных мерах по совершенствованию системы вовлечения населения в предпринимательство и развитию предпринимательства».
7. World Bank. What Support Do Uzbek Entrepreneurs Need? Evidence from a Qualitative Study. Washington, DC, 2023.
8. World Bank. Weaving a New Future in Uzbekistan's Cotton Sector. Washington, DC, 2025.
9. Ташбаев И. О. Организационно-экономические аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы кандидатской диссертации. – Ташкент, 2002.
10. Coase R.H. The Nature of the Firm // Economica. 1937. Vol. 4, № 16. P. 386–405.

УДК 004.912

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ДОСТОВЕРНОСТИ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ В НАУЧНЫХ ДОКУМЕНТАХ

Тихонова В.В., студент Института информационных технологий и интеллектуальных систем;
ORCID: 0009-0006-5968-9051;
Липачёв Е.К., к.ф.-м.н., доцент кафедры цифровой аналитики и технологий искусственного интеллекта ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-7789-2332

SYSTEM FOR AUTOMATIC VERIFICATION OF BIBLIOGRAPHICAL SOURCES IN SCIENTIFIC DOCUMENTS

Tikhonova V.V., student of the Institute of Information Technology and Intelligent Systems;
ORCID: 0009-0006-5968-9051;
Lipachev E.K., PhD, Associate Professor of the Institute of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-7789-2332

Аннотация

Предложен подход к решению проблемы обнаружения искаженной информации в списках научной литературы. Эта проблема всегда была актуальна для научных журналов, но наи-

более острой она стала в связи с использованием больших языковых моделей для генерации библиографических списков в научных статьях. Для обозначения этой проблемы используются термины «библиографическая конфабуляция», «цитационная галлюцинация», «фантомная ссылка» и др. В работе представлен метод обнаружения ссылок, указанных в библиографических списках научных работ, анализа и проверки их достоверности. Разработаны и реализованы алгоритмы, основанные на методах машинного обучения и обработки естественного языка, позволяющие определять существование источников, анализировать корректность DOI, URL и библиографических метаданных, а также выявлять признаки ошибок, OCR-искажений и несоответствий между записью и данными внешних научных каталогов. Дополнительно реализованы механизмы предварительной нормализации ссылок и формирования рекомендаций по их исправлению на основе найденных канонических метаданных. Проведённые эксперименты показали работоспособность предложенного подхода и возможность его интеграции в редакционные и научные платформы для автоматизированной валидации библиографических списков.

Ключевые слова: библиографическая конфабуляция, галлюцинация языковых моделей, цитационная галлюцинация, обработка текстов, методы искусственного интеллекта

Abstract

An approach to detecting distorted information in scientific reference lists is proposed. This problem has always been relevant for scientific journals, but has become especially acute due to the use of large language models to generate bibliographies in scientific articles. Terms such as “bibliographic confabulation”, “citation hallucination”, “phantom reference”, and others are used to describe this problem. This paper presents a method for detecting references listed in scientific reference lists, analyzing them, and verifying their validity. Algorithms based on machine learning and natural language processing have been developed and implemented to determine the existence of sources, analyze the correctness of DOIs, URLs, and bibliographic metadata, and identify signs of errors, OCR distortions, and inconsistencies between records and data from external scientific catalogs. Additionally, mechanisms for preliminary reference normalization and the generation of recommendations for their correction based on the identified canonical metadata have been implemented. The experiments conducted demonstrated the viability of the proposed approach and the possibility of its integration into editorial and scientific platforms for automated validation of bibliographic lists.

Keywords: citation hallucinations, detecting hallucination, hallucination of language models, text processing, artificial intelligence methods

Введение

В современном научном документообороте большие языковые модели всё чаще используются для подготовки, редактирования и структурирования научных текстов, в том числе для формирования списков библиографических источников. Одновременно с расширением применения генеративных моделей возрастает риск распространения недостоверной библиографической информации в научных публикациях. По запросу пользователя языковые модели формируют внешне правдоподобные библиографические записи, которые не соответствуют реально опубликованным научным источникам. Такая запись может иметь корректную библиографическую структуру и, одновременно, содержать несуществующее сочетание названия публикации, авторов, года, журнала, DOI или URL. В ряде случаев модель не создаёт полностью недостоверную запись, а объединяет элементы нескольких существующих публикаций, в результате чего формируется правдоподобная, но фактически вымышленная библиографическая запись. Для обозначения сгенерированных недостоверных ссылок предложены термины конфабулированные библиографические ссылки, библиографические конфабуляции, цитационные галлюцинации, галлюцинированные ссылки, фейковые (фиктивные) ссылки и др. [1–5].

В работе [3] проанализированы причины, типы и последствия генерации недостоверных библиографических ссылок, а также отмечен рост их использования в научных публикациях.

В работе [6] проведён анализ наличия фиктивных ссылок в корпусе из 17000 статей нескольких известных конференций, проведённых в 2024 и 2025 годах. Этот анализ показал, что почти в 300 статьях, как минимум одна ссылка была фиктивной (в работе такие ссылки обозначены термином «HalluCitation»). Примечательно, что более половины таких статей были выявлены на последней по времени конференции, что указывает на быстрое увеличение числа подобных случаев. Такие фиктивные ссылки представляют серьезную угрозу научной достоверности и подрывают доверие к конференциям.

В работе [7] в качестве решения указанной проблемы предложено требовать от авторов предоставления полного текста каждого цитируемого источника вместе с рукописью, тем самым предотвращая цитирование авторами материалов, полный текст которых они не могут предоставить.

В настоящей работе предложен подход к решению проблемы обнаружения искаженной информации в списках научной литературы. Представлен метод обнаружения ссылок, указанных в библиографических списках научных работ, анализа и проверки их достоверности. Разработаны и реализованы алгоритмы, позволяющие определять существование источников, анализировать корректность библиографических метаданных, выявлять признаки ошибок, OCR-искажений и несоответствий между записью и данными внешних научных ресурсов. Проведённые эксперименты показали работоспособность предложенного подхода и возможность его интеграции в редакционные и научные платформы для автоматизированной валидации библиографических списков.

Постановка задачи

Обозначим через d документ, содержащий ссылки на библиографические источники в виде списка литературы или сносок. Предполагается, что документ d представлен в одном из форматов, допускающий включений формул: DOCX, PDF или TEX. Задача состоит в разработке системы, позволяющих в автоматическом режиме выполнить следующие операции.

1. Извлечение библиографических описаний источников из документа d с последующим формированием множества записей $R(d) = \{r_1, r_2, ..., r_n\}$, где r_i – запись i-го библиографического источника, а n – их количество.

2. Создание поэлементного описания в виде $M(r) = \{aut, title, year, name, doi, url, pages, vol, no\}$. Здесь для $r \in R(d)$ введены обозначения: строка, содержащая список авторов, обозначена через *aut*, название публикации через *title*, *year* обозначает год публикации, *name* – наименование издания, *doi* – идентификатор DOI (Digital Object Identifier), *url* – адрес источника r в сети, *pages* – диапазон страниц публикации, *vol*, *no* – том и номер издания, содержащего публикацию r.

3. Проверка сформированных данных $M(r)$ с информацией из выверенных источников из внешних баз знаний.

4. Получение результата в виде оценки достоверности $V(r)$ источника r с каноническими кандидатами, полученными на шаге 3.

Работу системы можно представить в виде функции на множестве документов D:

$$F: d \rightarrow \{(r_i, M_i, V_i, C_i, E_i)\}_{i=1}^{n}, d \in D,$$

где $r_i \in R(d)$, $M_i = M(r_i)$, $V_i = V(r_i)$, C_i – состояние записи r_i, E_i – рекомендация по исправлению библиографической записи. Состояние C_i может иметь одно из следующих значений:

1 – корректный источник библиографии;

2 – библиографическая запись с частичными расхождениями в названии, списке авторов и т.д.;

3 – библиографическая запись с некорректным значением DOI или принадлежащим другому источнику;

4 – библиографическая запись с недоступным адресом URL или ведущим на другой ресурс;

5 – дублирующаяся библиографическая запись;

6 – библиографическая запись с неполными метаданными;

7 – неподтверждённая или потенциально недостоверная библиографическая запись.

Система может выдать результат как неопределенный случай, если при формировании результата проверяемых признаков оказалось недостаточно. В таком случае пользователь информируется о невозможности полной автоматической проверки и предлагается отчёт.

Типы библиографических конфабуляций

В системе учитываются типы библиографических галлюцинаций, перечисленные далее.

1 – К типу “Атрибутивная ошибка” относятся все ошибки, связанные с оформлением списка авторов.

2 – Тип “Ошибка в названии” означает, что в названии есть искажения.

3 – Тип “Хронологическая ошибка” – неверно указан год публикации.

4 – К типу “Ошибка источника” относятся ошибки, связанные с названием издания, в котором опубликован библиографический источник.

5 – Тип “Ошибка выходных данных” – неверно указан хотя бы один из параметров: том, номер, страницы, место издания и т.д.

6 – Тип “Ошибка DOI” означает, что строка doi, указанная в библиографическом источнике, относится к другой публикации или недоступна.

7 – Тип “Ошибка URL” включает все ошибки, возникающие при проверке в системе адреса url, например, ссылка недоступна или ведёт на другой источник.

8 – Если в одной библиографической записи обнаружены несколько типов ошибок, указывается тип “Комбинированная галлюцинация”.

Метод

Метод состоит из последовательности этапов, перечисленных далее.

На первом и втором этапах производится предварительная обработка текста и поиск списка литературы в документе. Поиск основан на анализе структуре документа, стилевых особенностей оформления списка литературы. Также найденный список литературы разделяется на отдельные библиографические записи.

На третьем этапе производятся операции по нормализации библиографических записей, в частности, устраняются разрывы в записях DOI и URL. Далее каждая запись разделяется на библиографические элементы: список авторов, название публикации, год выпуска, издание, том, номер, диапазон страниц, строка DOI, адрес URL.

Четвёртый этап включает в себя операции проверки записи на возможные библиографические конфабуляции. Прежде всего проверка опирается на строку DOI, если она присутствует в записи. Также если в строке присутствует адрес URL, система использует его для проверки. Если DOI и URL не указаны в записи, то при проверке используется совокупность библиографических метаданных.

На пятом этапе производится верификация сформированной записи библиографического источника с внешними базами знаний и выявляются галлюцинации в библиографической записи.

Оценка достоверности записи и формирование результата происходит на последнем этапе, на котором классифицируется тип ошибки и предлагаются рекомендации по ее исправлению.

Алгоритм обнаружения библиографических конфабуляций

Функционал системы представляет собой последовательную обработку документа, начиная с извлечения списка литературы из документа, представленным в одном из офис-

ных форматов, разделение списка на отдельные библиографические записи и их нормализацию, структурный разбор записей, и заканчивая верификацией записи с помощью запросов к внешним базам знаний, классификацией ошибок и формированием итогового отчёта.

1. Алгоритм нахождения списка литературы в документе. Отметим, что существует несколько вариантов оформления списка литературы в научных публикациях. При разработке системы создан набор регулярных выражений для основных типов библиографических описаний.

2. Алгоритм разделения списка литературы на библиографические источники. Как правило, в списках литературы встречаются записи источников, разделенные на несколько строк, например, для оформления адреса URL.

3. Алгоритм разделения записи на элементы библиографии. Производится нормализация текста записи, устраняются дефекты оформления ссылки. например, разрывы в записи URL, пробелы внутри записи DOI, пробелы после «www.», смешение алфавитов.

4. Алгоритм обработки списка авторов. Для поиска авторского блока используется несколько шаблонов, в частности, «Фамилия И.О.», «Surname, N.» и их перечисления через запятую, точку с запятой, «and» или «&». Далее каждый автор представляется отдельной строкой. Если список литературы оформлен по ГОСТ Р 7.0.100-2018, то производится обработка блока ответственности.

5. Алгоритм извлечения названия библиографического источника. Алгоритм основан на присутствие в записи конструкций «//» : левая часть записи рассматривается как зона авторов и заглавия, а правая – как зона источника публикации, название выделяется до блока ответственности.

6. Алгоритм определения года, тома, номера, страниц, издателя библиографической записи. В алгоритме учитывается тип источника: для журнальных статей год определяется как первое числовое значение после названия издания. Том и номер извлекаются с применением регулряных выражений и шаблонов вида «Vol.», «No.», «Т.», «№», «18(12)». Страницы определяются по маркерам «pp.», «p.», «с.» или по диапазону в хвостовой части записи. Издатель и место издания извлекаются с помощью регулярного выражения по шаблону : «Место: Издатель».

7. Алгоритм выделения строки DOI и адреса URL. Строка DOI определяется с помощью регулярных выражений по специализированному шаблону цифрового идентификатора. При извлечении URL учитываются как адреса с протоколом, так и адреса без него. В описании одного источника могут быть указаны несколько адресов URL. Поэтому в структурированном объекте предусмотрены поле «url» для основного адреса и поле «urls» для списка остальных.

8. Алгоритм верификации библиографической записи. Верификация осуществляется с помощью разработанной системы запросов к проверенным и авторитетным базам знаний, прежде всего Crossref, OpenAlex, PubMed, Wikidata, ORCID, Google Scholar. Кроме того, для дополнительной проверки используется веб-поиск на порталах научных журналах и изданий.

9. Алгоритм определения библиографической конфабуляций. Производится сравнение канонического кандидата, полученного по результатам внешней проверки. После построения множества кандидатов система выбирает лучший вариант по ранжированию. В рамках разработанной системы под библиографической галлюцинацией понимается формально выявляемое расхождение между исходной библиографической записью и внешне подтверждаемыми метаданными либо ситуация, при которой запись содержит признаки технической или структурной ненадёжности.

В системе используется покомпонентная классификация ошибок. Созданы 8 классов ошибок, в частности, AUTHOR_MISMATCH (ошибка в списке авторов), TITLE_MISMATCH (ошибка в названии), YEAR_MISMATCH (ошибка в году публикации) и т.д. А также набор комбинированных ошибок, например, AUTHOR_MISMATCH + TITLE_MISMATCH.

Тестирование

Для тестирования системы использовались созданный набор с ручной разметкой для проверки корректности выделения библиографических записей, корпус PMC Open Access для массовой обработки реальных научных PDF-документов и набор PMC_sample_1943 из GROBID end-to-end evaluation dataset, позволивший сопоставить результаты извлечения с эталонными JATS/NLM XML-данными.

На наборе с ручной разметкой система продемонстрировала корректное определение границ библиографических записей. При этом было установлено, что извлечение отдельных полей, прежде всего названий публикаций, является более чувствительным к переносам строк и артефактам PDF. Поэтому ошибки текстового извлечения рассматриваются системой отдельно и не приравниваются непосредственно к библиографической конфабуляции.

На корпусе PMC Open Access библиографический блок был корректно обнаружен в 96,8% обработанных документов.

На GROBID end-to-end evaluation dataset библиографический блок был обнаружен в 97% документов, а итоговое качество сопоставления библиографических записей составило F1 = 86,28%. Данный результат показывает, что разработанный сервис способен устойчиво выполнять полный цикл извлечения и сопоставления библиографических записей, хотя сложность обработки возрастает для документов с нарушенным порядком строк, большим количеством переносов и нестандартным оформлением ссылок.

Заключение

Предложен подход к решению проблемы, связанный с применением больших языковых моделей при генерации списков литературы в научной периодике. Эта проблема в настоящее время актуальна и обозначена такими терминам, как «библиографическая конфабуляция», «цитационная галлюцинация», «фантомная ссылка». Разработана система, позволяющая уверенно обнаруживать библиографические конфабуляции в научных статьях. Результаты тестирования позволяют сделать вывод о работоспособности системы автоматической проверки библиографических источников.

Работа выполнена за счет предоставленного в 2026 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан (Соглашение № 2).

Список литературы

1. Морозова, С.А. Когда ссылка выглядит настоящей: библиографические конфабуляции генеративного ИИ в практике научного журнала // URL: https://edu.elpub.ru/media/articles/Morozova_ELPUB_12_03_2026.pdf (дата обращения 01.07.2026).

2. Морозова, С.А. Библиография от GPT: границы достоверности // Университетская книга. 2026. № 1 (310). С. 76-83.

3. Морозова, С.А. Генеративные модели ИИ и фейковая библиографическая информация в научных публикациях: причины, типология, последствия и значение для управленческих решений // Управленческое консультирование. 2026. № 2 (194). С. 206-227. EDN: WJCNUH

4. Citation Hallucinations. URL: https://www.emergentmind.com/topics/citation-hallucinations (дата обращения 05.07.2026).

5. Тихонова, В.В. Список литературы тоже умеет галлюцинировать. URL: https://habr.com/ru/articles/1018664/ (дата обращения 11.07.2026).

6. Sakai, Y., Kamigaito, H., Watanabe, T. HalluCitation Matters: Revealing the Impact of Hallucinated References with 300 Hallucinated Papers // arXiv:2601.1872. 2026. https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.18724.

7. Glynn, A. Guarding against artificial intelligence--hallucinated citations: the case for full-text reference deposit // arXiv:2503.19848. 2025. https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.19848.

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕМАТИКИ НАУЧНЫХ РАБОТ НА СООТВЕТСТВИЕ СТРАТЕГИЧЕСКИМ ПРИОРИТЕТАМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА И СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Хабибрахманов Р.Р., студент;
ORCID: 0009-0003-9597-1722;
E-mail: 716rkh@gmail.com;
Федорова О.В., к.пед.н., доцент, заведующая кафедрой информационных технологий, факультет информационных технологий УВО «Университет управления «ТИСБИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-7921-1209

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR ASSESSING RESEARCH TOPICS AGAINST STRATEGIC PRIORITIES USING NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND SEMANTIC ANALYSIS

Khabibrakhmanov R.R., Student;
ORCID: 0009-0003-9597-1722,
E-mail: 716rkh@gmail.com;
Fedorova O.V., Cand. Sci. (Pedagogy), Associate Professor, Head of the Information Technologies Department, Faculty of Information Technologies, University of Management TISBI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-7921-1209

Аннотация

В работе рассматривается задача сопоставления названий научных работ с приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации. В названии часто нет объекта, методов и ожидаемого результата, поэтому ручная оценка занимает много времени и зависит от опыта конкретного специалиста. Цель исследования – сравнить лексический и семантический контуры автоматической оценки тематики на коротких русскоязычных названиях и на этой основе собрать систему поддержки принятия решений, которая формирует короткий ранжированный список кандидатов и при необходимости уточняет его большой языковой моделью (LLM, large language model). Практическая значимость состоит в ускорении предварительного отбора тем для экспертизы в контуре цифровых технологий государственного управления: система предлагает кандидатов, а окончательное решение остается за экспертом. Материалом послужил корпус из 5 980 названий, размеченных автором по девяти приоритетам Стратегии НТР, где одной теме разрешалось иметь несколько меток одновременно. После лемматизации и удаления стоп-слов лексический контур строил векторы частоты термина – обратной частоты документа (TF-IDF, term frequency – inverse document frequency) и обучал логистическую регрессию в многометочном режиме. Семантический контур кодировал название и описание класса научным энкодером SciRus и оценивал косинусное сходство. Качество измерялось на отложенной выборке (25%) по F1; прикладной сценарий – по точности, полноте и нормализованному дисконтированному накопленному выигрышу (NDCG) при глубине k=3. На коротких названиях лексический метод устойчивее семантического: macro F1 0,72 против 0,51. Ранжирование трех лучших приоритетов дает высокую полноту (R@3 0,9553; NDCG@3 0,9570) при P@3 0,5772. Гибрид с YandexGPT 5.1 не превосходит TF-IDF по F1 (macro F1 0,6797), но повышает точность до 0,9450 и тем самым снижает долю ложных меток, показываемых эксперту. Система предназначена для предварительного анализа и не заменяет научную экспертизу.

Ключевые слова: обработка естественного языка, семантический анализ, TF-IDF, LogisticRegression, многометочная классификация, научно-технологические приоритеты, ранжирование, YandexGPT

Abstract

The study addresses the need to match a large flow of short research titles with the scientific and technological development priorities of the Russian Federation. A title often omits the object, methods and expected result, so manual screening is slow and depends on the expert. The aim is to compare a lexical contour and a semantic contour on short Russian titles and to assemble a decision-support system that returns a short ranked list of candidates, optionally refined by a large language model (LLM). The practical value is faster pre-screening for expert review in the digital public-administration loop: the system proposes candidates, while the final decision remains with the expert. The material is a corpus of 5,980 titles labeled by the author with nine Strategy priorities; several labels per title were allowed. After lemmatization and stop-word removal, the lexical contour built term frequency – inverse document frequency (TF-IDF) vectors and trained logistic regression in a multilabel setting. The semantic contour encoded each title and class description with the SciRus encoder and used cosine similarity. Quality was measured on a 25 percent held-out test set by F1; the shortlist was evaluated by precision, recall and normalized discounted cumulative gain (NDCG) at k=3. On short titles the lexical method is more stable than the semantic one: macro F1 0.72 versus 0.51. Ranking of the top three priorities yields high recall (R@3 0.9553; NDCG@3 0.9570) with P@3 0.5772. A hybrid with YandexGPT 5.1 does not outperform TF-IDF on F1 (macro F1 0.6797), but raises precision to 0.9450 and reduces false labels shown to the expert. The system is intended for preliminary analysis and does not replace scientific review.

Keywords: natural language processing, semantic analysis, TF-IDF, LogisticRegression, multilabel classification; scientific and technological priorities; ranking; YandexGPT

Введение

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации задает ориентиры, с которыми должны соотноситься результаты исследований и тематика научных работ [1]. Автоматическое сопоставление названий с приоритетами НТР может использоваться ведомствами, фондами и вузами как фильтр входящего потока заявок. На практике эксперт получает короткое название, в котором могут отсутствовать предметная область, объект и ожидаемый результат. Ручное сопоставление таких формулировок с приоритетами требует много времени и дает разные результаты при различающемся опыте экспертов, поэтому целесообразно использовать систему поддержки принятия решений, формирующую объяснимый перечень кандидатов для последующей проверки.

Задача ставится как многометочная классификация и одновременно как информационный поиск: научно-технологические приоритеты образуют пространство из девяти классов, одна тема может быть связана с несколькими из них, также важен порядок выдачи, особенно при ограничении числа рекомендаций. Лексический подход TF-IDF отражает различительную силу терминов в корпусе [2]; его практическая реализация в библиотеке scikit-learn совместима с линейными классификаторами [3]. Семантический подход, напротив, сопоставляет векторы текста и описания класса. Он опирается на развитие контекстных представлений BERT [4] и моделей предложений для семантического поиска [5].

Цель исследования – сравнить лексический и семантический методы оценки коротких русскоязычных названий по девяти приоритетам НТР и на этой основе собрать воспроизводимый контур поддержки эксперта.

Методика исследования

Материал исследования составил набор из 5 980 названий научных работ. Корпус собран из открытых каталогов диссертационных тем и размечен автором по официальным формулировкам девяти приоритетов Стратегии НТР [1]. Разметка многометочная: одной теме

разрешалось одновременно иметь несколько классов. Среднее число меток на тему – 1,88; одну метку имеют 2 322 темы (38,8%), две и более – 3 643 (60,9%), ни одной – 15 (0,3%). Пространство классов таково: 1) передовые производственные технологии, искусственный интеллект и новые материалы (1 758 тем, 29,4%); 2) экологически чистая и ресурсосберегающая энергетика (1 008, 16,9%); 3) персонализированная медицина и здоровьесбережение (475, 7,9 %); 4) агро- и аквахозяйство (1 069, 17,9 %); 5) безопасность и противодействие угрозам (1 126, 18,8%); 6) связанность территории, транспорт и космос (1 071, 17,9%); 7) социальные и гуманитарные аспекты больших вызовов (2 694, 45,1%); 8) климат и адаптация (1 511, 25,3%); 9) природоподобные технологии (540, 9,0%). Самый частый класс – седьмой, самые редкие – третий и девятый, поэтому далее наряду с micro F1 приводится macro F1.

Данные делились на обучающую и тестовую части итеративной стратификацией для многометочных выборок (IterativeStratification, доля теста 25%, random_state=42). Показатели табл. 1 относятся к отложенной тестовой части. Ранжирование (табл. 2) оценивалось на выборке из 1 000 названий. Гибрид с языковой моделью (табл. 3) – на той же выборке из 1 000 названий, потому что обращение к внешнему сервису ограничено по стоимости и воспроизводимости. Выводы о статистической значимости различий не делались.

Предобработка включала приведение к нижнему регистру, удаление символов вне буквенно-цифрового набора, токенизацию по пробелу, отбрасывание стоп-слов русского языка и лемматизацию. Морфологический анализ выполнялся Pymorphy3 [6], список стоп-слов брался из Natural Language Toolkit [7]. Токены короче трех символов отбрасывались. Результатом стал набор нормализованных терминов, пригодный для векторизации.

В лексическом контуре тексты преобразовывались в признаки TF-IDF: не более 10 000 признаков, n-граммы длины 1–2, сублинейное масштабирование частоты термина (sublinear_tf=True). Для каждой из девяти меток обучался бинарный классификатор LogisticRegression (solver saga, C=1,0, class_weight=balanced, max_iter=1000, random_state=42) в схеме MultiOutputClassifier. Порог отсечения – 0,5 по вероятности класса. Пороговое решение не следует трактовать как содержательную истину: оно лишь переводит модельный балл в рекомендацию для просмотра. Качество оценивалось по micro, macro и weighted F1.

В семантическом контуре название темы и описание каждого приоритета кодировались научным энкодером SciRus, контрольная точка mlsa-iai-msu-lab/sci-rus-tiny3.5-zh (далее – SciRus) [8]. Релевантность определялась косинусным сходством векторов. Поверх «сырых» косинусных оценок для каждого класса обучался калибровщик, переводящий сходство в вероятность. Порог по каждому классу подбирался на валидационной части по максимуму F1 в сетке от 0,01 до 0,99 с шагом около 0,01. Модель предназначена для представления научных текстов и обучалась с учетом многоязычных научных данных [8].

Для прикладного сценария оценки ранжировались по баллу модели, эксперту показывались k=3 приоритета. Использовались Precision@k, Recall@k и нормализованный дисконтированный накопленный выигрыш NDCG@k [9]. Величина k задает число рекомендаций, доступных в одном просмотре; k=3 выбрано по сочетанию полноты и компактности списка. Гибридный контур передавал в YandexGPT 5.1 Pro через интерфейс программирования приложений (API, application programming interface) кандидатов лексической модели; документация платформы описывает сервис как внешнюю генеративную модель [10], поэтому этот контур зависит от доступности сервиса и не полностью воспроизводим локально.

Основная часть

Сопоставление контуров показывает, что на имеющейся разметке лексическая модель лучше решает задачу назначения меток НТР. Как видно из таблицы 1, TF-IDF с LogisticRegression получил micro F1 0,75, macro F1 0,72, weighted F1 0,76, macro-точность 0,67 и macro-полноту 0,83. Семантическое сопоставление на эмбеддингах SciRus достигло micro F1 0,54 и macro F1 0,51 при macro-точности 0,44 и macro-полноте 0,63. Разница не означает, что эмбеддинги бесполезны: они дают упорядоченный список кандидатов, если формулировки темы и класса не

совпадают дословно. Однако короткие названия и близкие по лексике классы делают одного косинусного сходства недостаточным для устойчивого бинарного решения. Именно поэтому в заголовке работы система опирается на оба семейства признаков, но основным классификатором остается лексический контур.

Таблица 1

Сравнительные результаты классификации на тестовой выборке

Контур	micro F1	macro F1	macro P	macro R
TF-IDF + LogisticRegression	0,75	0,72	0,67	0,83
SciRus + косинусное сходство	0,54	0,51	0,44	0,63

Для пользовательского сценария важна не только метка после порога, но и качество верхней части ранжированного списка лексической модели. Оценка ранжирования выполнена на выборке из 1 000 названий. В табл. 2 при k=3 полнота R@3 равна 0,9553, а NDCG@3 – 0,9570; релевантные варианты обычно попадают в короткий список и занимают в нем высокие позиции. В то же время P@3 0,5772 означает, что эксперт не должен воспринимать все три позиции как равнозначно подтвержденные.

Таблица 2

Метрики ранжирования приоритетов НТР (k=3, 1 000 названий)

Задача и глубина	P@k	R@k	NDCG@k
НТР, топ-3	0,5772	0,9553	0,9570

Проверен также гибридный сценарий, в котором машинное обучение дополняется YandexGPT 5.1 Pro [10]. Его назначение – уточнять кандидатов первичной модели, а не заменять ее. Прямое сравнение по F1 на одной и той же постановке девяти меток показывает, что гибрид не сильнее лучшего базового метода: macro F1 0,6797 против 0,72 у TF-IDF. Отдельно взятая языковая модель на выборке из 1 000 названий дает macro F1 0,6553, точность 0,8870 и полноту 0,5569. Связка ML + LLM поднимает точность до 0,9450 при полноте 0,5754, samples F1 0,7354 и Hamming loss 0,0930. Иными словами, LLM нужна, потому что она ведет себя консервативно: реже показывает эксперту ложную метку, но чаще пропускает часть подходящих приоритетов. Это приемлемо для предварительной экспертизы, если рекомендации сопровождаются оценкой уверенности и эксперт вправе добавить отсутствующее направление. Сводка приведена в табл. 3. Для TF-IDF и SciRus точность и полнота – macro-средние по девяти классам на тестовой части; для языковых моделей – сводные оценки эксперимента на выборке из 1 000 названий.

Таблица 3

Сопоставление базовых контуров и гибрида с YandexGPT 5.1

Контур	Выборка	macro F1	precision	recall
TF-IDF + LogisticRegression	тест 25%	0,72	0,67	0,83
SciRus + косинус	тест 25%	0,51	0,44	0,63
YandexGPT 5.1	1 000 названий	0,6553	0,8870	0,5569
ML + YandexGPT 5.1	1 000 названий	0,6797	0,9450	0,5754

Практическая архитектура системы показана на рис. 1. Пользователь вводит название, текст нормализуется, параллельно считаются лексические вероятности и семантические сходства, формируется топ-3, при включенном гибридном режиме список уточняется через API YandexGPT; эксперт принимает или правит метки, а решение записывается в журнал. Программная реализация оформлена как веб-сервис. При изменении формулировок приоритетов или предметной лексики модели необходимо переобучать и повторно проверять на актуальной контрольной части. Внешний LLM-контур требует отдельно контролировать доступность API, правила обработки данных и воспроизводимость ответов.

<table>
<tr><th colspan="2">Название научной работы</th></tr>
<tr><td colspan="2">Нормализация: лемматизация (Pymorphy3), стоп-слова (NLTK)</td></tr>
<tr><td>Лексический контур: TF-IDF + логистическая регрессия, 9 меток</td><td>Семантический контур: SciRus + косинусное сходство с описаниями</td></tr>
<tr><td colspan="2">Слияние оценок и ранжирование топ-3</td></tr>
<tr><td>Уточнение LLM: YandexGPT 5.1 через API</td><td>Эксперт и журнал: принятие или правка меток</td></tr>
</table>

Рис. 1. Схема контуров оценки названия научной работы

Выводы

На наборе из 5 980 размеченных коротких русскоязычных названий лексический метод TF-IDF с логистической регрессией устойчивее семантического сопоставления SciRus: macro F1 0,72 против 0,51 при той же девятиклассовой разметке. Ранжирование топ-3 обеспечивает высокую полноту (R@3 0,9553, NDCG@3 0,9570) и поэтому пригодно как подсказка эксперту, хотя P@3 0,5772 не позволяет считать все три позиции подтвержденными. Гибрид с YandexGPT 5.1 не отменяет этот вывод: его macro F1 0,6797 ниже, чем у TF-IDF, зато точность 0,9450 выше, чем у обоих базовых контуров и у отдельно взятой языковой модели, LLM в системе – фильтр ложных меток.

Система должна использоваться как средство поддержки, а не как автоматическое основание для окончательного решения. Ее качество ограничивают краткие названия, авторский характер разметки, дисбаланс девяти классов, зависимость гибридного режима от LLM и API и то, что гибрид оценен на меньшей выборке, чем TF-IDF. Перспективой является пополнение корпуса подтвержденными экспертными решениями, независимая переразметка части тем, пересмотр порогов и периодическая переоценка всех контуров на одной и той же контрольной выборке. Такой цикл позволит сохранять соответствие системы меняющейся научной и нормативной повестке государственного управления.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003 (дата обращения: 13.08.2026).

2. Salton G., Buckley C. Term-weighting approaches in automatic text retrieval // Information Processing & Management. 1988. Vol. 24, № 5. P. 513–523. DOI: 10.1016/0306-4573(88)90021-0.

3. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research. 2011. Vol. 12. P. 2825–2830. – URL: https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html (дата обращения: 13.08.2026).

4. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of NAACL-HLT 2019. Minneapolis, 2019. P. 4171–4186. DOI: 10.18653/v1/N19-1423.

5. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // Proceedings of EMNLP-IJCNLP 2019. Hong Kong, 2019. P. 3982–3992. DOI: 10.18653/v1/D19-1410.

6. Korobov M. Morphological Analyzer and Generator for Russian and Ukrainian Languages // Analysis of Images, Social Networks and Texts. AIST 2015. Communications in Computer and Information Science. Vol. 542. Cham : Springer, 2015. P. 320–332. DOI: 10.1007/978-3-319-26123-2_31.

7. Bird S., Klein E., Loper E. Natural Language Processing with Python. Sebastopol : O'Reilly Media, 2009. 504 p. – URL: https://www.nltk.org/book/ (дата обращения: 13.08.2026).

8. Gerasimenko N., Vatolin A., Ianina A., Vorontsov K. SciRus: Tiny and Powerful Multilingual Encoder for Scientific Texts // Doklady Mathematics. 2024. Vol. 110, № 1. P. S193–S202. DOI: 10.1134/S1064562424602178.

9. Järvelin K., Kekäläinen J. Cumulated gain-based evaluation of IR techniques // ACM Transactions on Information Systems. 2002. Vol. 20, № 4. P. 422–446. DOI: 10.1145/582415.582418.

10. YandexGPT in Yandex Cloud: documentation [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.cloud/en/docs/foundation-models/concepts/yandexgpt/ (дата обращения: 13.08.2026).

УДК 372.881.1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ПРОЕКТНЫХ КЕЙСОВ

Хамитова Л.М., к.ф.н., доцент кафедры иностранных языков и перевода Набережночелнинского филиала Казанского инновационного университета имени В.Г. Тимирясова;
ORCID: 0000-0002-7408-7079;
E-mail: lan-khamitova@yandex.ru;
Хамитова А.Р., магистрант Казанского инновационного университета имени В.Г. Тимирясова, г. Набережные Челны, Россия;
E-mail: adi.khamitova@gmail.ru

AN INTELLIGENT PLATFORM FOR LEARNING PROFESSIONAL ENGLISH BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND PROJECT CASES

Khamitova L.M., Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of the Department of Foreign Languages and Translation, Naberezhnye Chelny Branch of Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Naberezhnye Chelny,
ORCID: 0000-0002-7408-7079;
E-mail: lan-khamitova@yandex.ru;
Khamitova A.R., master's student at Kazan Innovative University named after V. G. Timiryasov, Kazan, Russia;
E-mail: adi.khamitova@gmail.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема развития навыков профессионально ориентированного английского языка у студентов в условиях цифровой трансформации образования. Цель статьи заключается в разработке концептуальной модели интеллектуальной EdTech-платформы, объединяющей проектные кейсы, адаптивную образовательную траекторию, инструмен-

ты генеративного искусственного интеллекта и преподавательское сопровождение. Предлагается структура платформы, включающая входную диагностику, профессиональные треки, ИИ-тренажёр письменной и устной речи, систему проектных заданий, цифровое портфолио и аналитическую панель для преподавателя. Обосновывается необходимость этического и педагогически обоснованного применения генеративного ИИ. Практическая значимость работы заключается в возможности использовать предложенную модель в вузах, колледжах, языковых центрах и корпоративном обучении, а также в перспективе её развития в качестве образовательного стартапа.

Ключевые слова: профессиональный английский язык, искусственный интеллект, цифровое образование, EdTech (education technology – технологии образования), проектное обучение, кейс-метод, персонализация, образовательная аналитика, цифровое портфолио, генеративный ИИ (искусственный интеллект)

Abstruct

The article examines the problem of developing professionally oriented English language skills among students in the context of the digital transformation of education. The aim of the article is to develop a conceptual model of an intelligent EdTech platform that combines project cases, an adaptive educational trajectory, generative artificial intelligence tools, and teacher support. A platform structure is proposed, which includes entry diagnostics, professional tracks, an AI tutor for written and spoken language, a system of project assignments, a digital portfolio, and an analytical panel for the teacher. The necessity of ethical and pedagogically sound use of generative AI is substantiated. The practical significance of the work lies in the possibility of using the proposed model in universities, colleges, language centers, and corporate training, as well as in the prospect of its development as an educational startup.

Keywords: professional English, artificial intelligence, digital education, EdTech (education technology), project-based learning, case method, personalization, educational analytics, digital portfolio, generative AI (artificial intelligence)

Введение

Цифровая трансформация меняет требования к современному специалисту: выпускнику всё чаще необходимо работать с иностранными источниками, использовать международные цифровые сервисы, взаимодействовать с удалёнными командами и представлять результаты своей работы на английском языке. Владение английским языком следует рассматривать не только как академическую дисциплину, но и как практический инструмент профессиональной коммуникации.

Основы такого понимания языкового образования были заложены отечественной методической школой. По мнению Пассова, обучение иностранному языку должно строиться через речевую деятельность и активное общение, а не через механическое усвоение изолированных правил: язык осваивается тогда, когда он используется как средство решения коммуникативной задачи [1]. Полат в своих работах о методе проектов подчёркивает, что эффективное обучение предполагает организацию поисковой, исследовательской деятельности учащихся, ориентированной на практический результат, а не только на накопление теоретических знаний [3]. Эти положения остаются актуальными и при проектировании цифровых образовательных решений, поскольку любая технология должна опираться на проверенные педагогические принципы, а не подменять их.

Титова отмечает, что технологии на основе искусственного интеллекта в обучении иностранным языкам чаще всего применяются в форме чат-ботов, которые способны формировать персонализированную траекторию обучения, проводить аналитику образовательных данных почти в реальном времени и выполнять часть рутинной работы преподавателя по проверке заданий [4]. Полюдова, изучая тенденции применения ИИ в преподавании ино-

странных языков в высшей школе, приходит к выводу, что нейросети и чат-боты позволяют автоматизировать проверку заданий, персонализировать содержание и развивать коммуникативные навыки учащихся [5]. Схожей позиции придерживается и Аверьянова, считающая, что преподаватели, освоившие инструменты искусственного интеллекта, получают заметное преимущество перед коллегами, которые продолжают работать по традиционным моделям без цифровой поддержки [7].

Вместе с тем применение искусственного интеллекта не должно превращаться в передачу учебной задачи алгоритму вместо студента. Аверьянов, анализируя подготовку кадров для сферы искусственного интеллекта, указывает на то, что эффективное освоение цифровых компетенций требует сочетания формального образования, самостоятельной работы и практико-ориентированных задач [6]. Данный вывод справедлив и для языкового образования: применение ИИ должно сопровождаться чёткой педагогической структурой, иначе увеличивается риск формального выполнения заданий без реального прироста знаний.

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью создания образовательной среды, в которой изучение английского языка связано с реальными профессиональными задачами, самостоятельной деятельностью и ответственным использованием цифровых технологий. В качестве такого решения предлагается интеллектуальная платформа для изучения профессионального английского языка на основе искусственного интеллекта и проектных кейсов.

Цель исследования – разработать концептуальную модель интеллектуальной цифровой платформы для развития навыков профессиональной англоязычной коммуникации студентов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: рассмотреть особенности профессионально ориентированного обучения английскому языку в цифровой образовательной среде; определить возможности и ограничения генеративного искусственного интеллекта в языковом образовании; разработать структуру интеллектуальной платформы и описать её ключевые функциональные модули; предложить систему проектных кейсов для развития профессиональной коммуникации; сформулировать принципы оценки результатов обучения и этического использования ИИ; определить перспективы внедрения разработки в образовательную практику и развития проекта как EdTech-стартапа.

Объектом исследования является процесс обучения профессионально ориентированному английскому языку студентов. Предметом исследования выступает применение интеллектуальной цифровой платформы, основанной на проектных кейсах и технологиях искусственного интеллекта, для формирования навыков профессиональной коммуникации на английском языке.

Гипотеза исследования состоит в предположении, что использование цифровой платформы, сочетающей практические кейсы, персонализированную обратную связь, ИИ-тренажёры и преподавательское сопровождение, будет способствовать повышению учебной мотивации, самостоятельности и качества профессиональной англоязычной коммуникации студентов.

Основная часть: профессиональный английский язык в цифровой среде

Профессионально ориентированное обучение английскому языку предполагает развитие способности использовать иностранный язык в конкретной сфере деятельности. В отличие от общего курса английского языка, оно строится вокруг профессиональной лексики, типичных коммуникативных ситуаций и практических задач.

Пассов считает, что ключевым принципом обучения иноязычному говорению должна быть речевая направленность: учебный процесс необходимо строить как модель реального общения, в котором язык выступает средством решения конкретной коммуникативной задачи, а не самоцелью [Пассов, 1991]. Применительно к профессиональному английскому языку это означает, что студенту недостаточно запомнить термин customer или выражение

competitive advantage – необходимо применить их в конкретной ситуации: подготовить письмо заказчику, представить преимущества услуги, объяснить отличие продукта от предложений конкурентов.

По мнению Полат, метод проектов позволяет организовать именно такую практическую деятельность: он предполагает наличие значимой проблемы, самостоятельную работу учащихся индивидуально или в группе, структурирование содержательной части с распределением ролей и оформление результата в виде конкретного практического продукта [3]. Данный принцип лежит в основе организации профессиональных кейсов на цифровой платформе: студент не выполняет изолированное упражнение, а решает задачу, приближённую к реальной профессиональной деятельности.

Несмотря на различия профессиональных сфер, можно выделить общий набор коммуникативных компетенций, которые целесообразно развивать в рамках цифрового курса: представление себя, компании, проекта или услуги; деловая переписка; участие в рабочей встрече; подготовка презентации; аргументация собственной позиции; описание проблемы и предлагаемого решения; работа с профессиональной терминологией; ведение диалога с клиентом, партнёром или работодателем.

Цифровая среда создаёт условия для организации такой деятельности: она позволяет хранить и обновлять учебные материалы, организовывать групповую проектную работу, быстро собирать результаты, давать обратную связь и фиксировать образовательную динамику. Титова отмечает, что цифровые технологии позволяют преподавателю проектировать дидактические материалы для адаптивных курсов и одновременно снижать нагрузку по рутинной проверке заданий, освобождая время для содержательной работы со студентами [4].

Концепция интеллектуальной платформы

Предлагаемая платформа может носить условное название ProEnglish AI. Её основная идея заключается в том, что пользователь изучает английский язык через профессиональные ситуации и создаёт практические результаты: письма, презентации, описания продукта, коммерческие предложения и проектные материалы.

Платформа ориентирована на студентов колледжей и вузов, начинающих специалистов и сотрудников компаний, которым необходимо применять английский язык в своей работе. На начальном этапе наиболее перспективным представляется запуск одного специализированного направления – English for Marketing and Sales. В дальнейшем функциональность платформы может быть расширена за счёт треков English for IT, English for Tourism, English for Design и English for BIM and Construction.

Основой платформы является последовательная образовательная траектория: диагностика, изучение тематической лексики, тренировка письменной и устной речи, прохождение проектного кейса, получение обратной связи и добавление результата в электронное портфолио. Полюдова указывает, что современные цифровые решения на основе ИИ позволяют систематизировать способы оптимизации обучения за счёт автоматизации проверки, персонализации заданий и развития коммуникативных навыков учащихся [5], что напрямую подтверждает целесообразность такой архитектуры.

После регистрации пользователю предлагается пройти входную диагностику, включающую лексико-грамматический тест, задание на понимание профессионального текста, письменный мини-ответ и короткую самопрезентацию. На основе диагностики система формирует персональный профиль: например, студент может иметь уровень B1, хорошо понимать письменный текст, но испытывать трудности при формулировании аргументов в устной речи. В таком случае платформа рекомендует начать с модулей по деловой переписке и речевым клише для переговоров.

Первым модулем является входная диагностика, определяющая уровень английского языка по нескольким направлениям: грамматика, активная лексика, чтение, аудирование, письменная и устная речь, профессиональная терминология.

Второй модуль – профессиональные учебные треки. Направление English for Marketing and Sales может включать разделы: самопрезентация, описание продукта, целевая аудитория, деловая переписка, коммерческое предложение, презентация маркетинговой кампании, обработка возражений и финальный питч проекта.

Третий модуль – интерактивный словарь. Его задача заключается не в механическом запоминании переводов, а в освоении профессиональной лексики в контексте, что соответствует принципу функциональности, сформулированному Пассовым: речевая деятельность должна быть направлена одновременно на лексику, грамматику и фонетику, а не рассматривать их изолированно [2].

Четвёртый модуль – ИИ-тренажёр письменной речи. Пользователь получает практическую задачу, например написать письмо потенциальному клиенту, и создаёт текст на английском языке. Система анализирует работу по нескольким критериям: грамматическая корректность, точность лексики, соответствие деловому стилю, логика структуры и уместность обращения. По данным исследования, проведённого в открытом уроке о применении чат-ботов с ИИ в обучении иностранному языку, преподаватели чаще всего используют такие системы для генерации заданий и автоматической проверки работ студентов неязыковых вузов, что подтверждает практическую востребованность подобного модуля [9].

Пятый модуль – ИИ-симулятор профессиональных диалогов, позволяющий студенту вести текстовый или голосовой разговор с виртуальным собеседником в роли клиента, HR-менеджера или инвестора. Как отмечается в исследованиях, посвящённых применению ИИ-технологий в обучении иностранным языкам, умные системы сопровождения и чат-боты способны моделировать учебные ситуации, максимально приближённые к реальным, снижать языковую неуверенность учащихся и повышать мотивацию к обучению [8].

Шестой модуль – проектные кейсы. Данный компонент напрямую опирается на методику проектного обучения: по мнению Полат, работа над проектом должна включать погружение в проблему, распределение ролей, самостоятельный сбор и анализ информации, оформление результата и его публичную защиту [3]. Например, кейс «Launching an Educational App» предполагает, что команда студентов определяет целевую аудиторию продукта, готовит рекламный текст, составляет письмо партнёру, создаёт презентацию и защищает проект перед виртуальным инвестором.

Седьмой модуль – цифровое портфолио, в котором сохраняются лучшие работы студента: письма, презентации, записи выступлений и результаты кейсов. Восьмой модуль – кабинет преподавателя, показывающий активность студентов, частые ошибки и результаты диагностик. Титова подчёркивает, что управление учебным процессом на основе ИИ-технологий включает анализ учебной аналитики и разработку индивидуальной траектории обучения, что позволяет преподавателю точнее определять учебные потребности группы [4].

Методика применения проектных кейсов

Каждый проектный кейс включает профессиональную ситуацию, проблему, роль студента, набор исходных материалов, ожидаемый результат и критерии оценивания. Полат отмечает, что обязательным условием эффективности метода проектов является наличие значимой в исследовательском или практическом плане задачи, требующей интегрированного знания и самостоятельного поиска решения [3].

Пример кейса для направления English for Marketing and Sales представлен ниже.

Название кейса: «Презентация цифрового образовательного сервиса». Команда разработчиков создаёт онлайн-платформу для изучения английского языка через профессиональные задачи и представляет проект потенциальным партнёрам. Задача студента – подготовить англоязычную презентацию продукта, описать целевую аудиторию и функциональность сервиса, обозначить конкурентные преимущества и ответить на вопросы виртуального инвестора.

Итоговый продукт: презентация на 5–7 слайдов, текст устного выступления, письмо партнёру и расшифровка диалога с ИИ-инвестором.

При организации групповой работы возможна ролевая модель: один студент отвечает за анализ целевой аудитории, другой – за описание продукта, третий – за подготовку презентации, четвёртый – за коммуникацию с «клиентом». Такой формат соответствует этапам работы над проектом, которые выделяет Полат: распределение задач по группам, самостоятельная работа участников, промежуточное обсуждение результатов и защита проекта с последующим обсуждением [3].

Искусственный интеллект в предложенной модели выполняет вспомогательную, а не замещающую функцию. Титова классифицирует чат-боты, применяемые в языковом образовании, на дидактические – узко обученные для формирования конкретных речевых умений, и социальные – полифункциональные системы, предназначенные для генерации текстов, презентаций и графики [4]. В контексте платформы ProEnglish AI используются оба типа: дидактический модуль отвечает за проверку письменной речи и объяснение грамматики, социальный – за моделирование свободного профессионального диалога.

ИИ может быть полезен в следующих задачах: формирование индивидуальных рекомендаций; создание дополнительных заданий по типичным ошибкам; проверка черновых вариантов письменных работ; моделирование деловых переговоров; объяснение грамматических конструкций на доступном уровне; подбор синонимов и профессиональных речевых клише; анализ динамики выполнения заданий.

Аверьянова считает, что преподаватели, освоившие работу с нейросетями, получают возможность быстрее готовить вариативные задания и уделять больше внимания содержательному общению со студентами, тогда как отказ от таких инструментов постепенно снижает конкурентоспособность педагога [7]. Однако она же указывает, что применение ИИ должно сопровождаться пониманием его ограничений: система может выдавать шаблонные или неточные формулировки, если преподаватель не задаёт чёткие критерии оценивания.

Ученые, изучая подготовку кадров для сферы искусственного интеллекта, приходят к выводу, что эффективное развитие цифровых компетенций требует сочетания формального обучения с практико-ориентированными задачами и самостоятельной работой обучающегося. Данный вывод применим и к языковому образованию: чтобы избежать формального копирования ИИ-ответа, платформа должна требовать от студента собственного черновика, последующего анализа предложений системы и обоснования внесённых изменений.

Практически принцип «сначала мыслит студент – затем помогает ИИ» реализуется так: пользователь самостоятельно пишет черновой вариант текста, получает ИИ-обратную связь, анализирует предложения системы и вносит изменения, кратко фиксируя, что и почему было исправлено. Такой шаг развивает рефлексию и снижает риск механического копирования готового ответа.

Преподаватель в данной модели не утрачивает значимости. Он определяет учебные цели, отбирает кейсы, объясняет профессиональный контекст, оценивает качество аргументации и принимает окончательное решение при выставлении оценки. Как отмечает Полюдова, автоматизация проверки и персонализация заданий с помощью ИИ не заменяют преподавателя, а систематизируют его работу, позволяя сосредоточиться на развитии коммуникативных навыков учащихся [5].

Для проверки эффективности модели может быть проведено пилотное исследование на группе из 15–30 студентов продолжительностью от четырёх до шести недель. На первом этапе проводится входная диагностика: тестирование лексико-грамматических навыков, чтение профессионального текста, написание делового письма и устная самопрезентация, а также анкетирование об отношении студентов к цифровым сервисам и ИИ-инструментам.

На втором этапе студенты проходят учебный трек: еженедельно выполняют тематический модуль, участвуют в диалоговой симуляции и решают часть проектного кейса, а преподаватель разбирает распространённые ошибки и оценивает итоговые материалы. На третьем этапе проводится итоговая диагностика с новой, но сопоставимой профессиональной ситуацией.

Эффективность платформы может оцениваться по нескольким показателям, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Показатель	Способ оценки
Профессиональная лексика	Сравнение результатов входного и итогового теста
Качество письменной речи	Оценивание работ по единой рубрике
Устная коммуникация	Питч, ролевая игра или ИИ-симуляция
Учебная активность	Количество завершённых модулей и кейсов
Мотивация	Анкетирование до и после апробации
Уверенность в общении	Самооценка студентов
Качество проектов	Экспертная оценка преподавателя

Предполагаемый результат апробации состоит в том, что студенты будут демонстрировать более уверенное использование профессиональной лексики, улучшение структуры деловых текстов и большую заинтересованность в изучении английского языка за счёт связи учебных заданий с будущей профессией.

Заключение

Разработка интеллектуальной платформы для изучения профессионального английского языка на основе искусственного интеллекта и проектных кейсов отвечает актуальным потребностям современного образования. Она позволяет преодолеть разрыв между формальным усвоением языковых правил и практическим применением английского языка в профессиональной деятельности.

Предложенная модель опирается на классические методические принципы – коммуникативную направленность обучения, сформулированную Пассовым, и проектную деятельность, разработанную Полат, – интегрируя их с современными цифровыми инструментами [1, 3]. Искусственный интеллект, по мнению Титовой и Полюдовой, способен поддерживать этот процесс через персонализацию, автоматизацию проверки и аналитику, однако не должен заменять преподавательский контроль и человеческое взаимодействие [4, 5].

Практическая значимость разработки состоит в возможности её внедрения в программы профессионально ориентированного английского языка в вузах, колледжах и языковых центрах. В перспективе платформа может быть масштабирована в EdTech-стартап, объединяющий цифровую языковую подготовку, развитие проектных компетенций и формирование профессионального портфолио обучающихся.

Список литературы

1. Пассов, Е. И. Коммуникативный метод обучения иноязычному говорению / Е. И. Пассов. – 2-е изд. – Москва : Просвещение, 1991. – 223 с.

2. Пассов, Е. И. Основы коммуникативной методики обучения иноязычному общению / Е. И. Пассов. – Москва : Русский язык, 1989. – 276 с.

3. Полат, Е. С. Метод проектов на уроках иностранного языка / Е. С. Полат // Иностранные языки в школе. – 2000. – № 2. – С. 3–10.

4. Титова, С. В. Технологические решения на базе искусственного интеллекта в обучении иностранным языкам / С. В. Титова // Вестник Московского университета. Серия 19. Лингвистика и межкультурная коммуникация. – 2024. – № 2. – С. 18–38.

5. Полюдова, О. Ю. Искусственный интеллект в преподавании иностранных языков: тенденции применения в высшей школе / О. Ю. Полюдова // Открытое образование. – 2025. – Т. 29, № 4. – С. 45–58.

6. Аверьянов, А. О. Трудоустройство выпускников образовательных программ в сфере искусственного интеллекта / А. О. Аверьянов, В. А. Гуртов, И. С. Степусь // Университетское управление: практика и анализ. – 2025. – Т. 29, № 4. – С. 56–73.

7. Аверьянова, В. Педагоги, которые используют ИИ, заменят тех, кто его не использует / В. Аверьянова // Учительская газета. – 2023. – 30 августа.

8. Эффективное использование технологий искусственного интеллекта в процессе обучения иностранному языку // Молодой учёный. – 2023. – № 498. – С. 1–4.

9. Применение российских и зарубежных чат-ботов с искусственным интеллектом для индивидуализации обучения иностранному языку // Открытый урок: методики, сценарии и приложения. – 2024.

УДК 81.322

ТЕХНИЧЕСКАЯ ГРАМОТНОСТЬ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ: ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ПОДДЕРЖКИ ЧТЕНИЯ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ НАУЧНЫХ ТЕКСТОВ

Хамитова Л.М., к.ф.н., доцент кафедры иностранных языков и перевода;
ORCID: 0000-0002-7408-7079;
E-mail: lan-khamitova@yandex.ru;
Хайрутдинова Э.М., студент Набережночелнинского филиала Казанского инновационного университета имени В.Г. Тимирясова, г. Набережные Челны, Россия;
ORCID: 0009-0004-5737-2670;
E-mail: lan-khamitova@yandex.ru

TECHNICAL LITERACY OF THE NEW GENERATION: DIGITAL TOOLS SUPPORTING THE READING OF ENGLISH-LANGUAGE SCIENTIFIC TEXTS

Khamitova L.M., Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of the Department of Foreign Languages and Translation;
ORCID: 0000-0002-7408-7079;
E-mail: lan-khamitova@yandex.ru;
Khairutdinova E.M., student, Faculty of Management and Engineering Business, Naberezhnye Chelny Branch of Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Naberezhnye Chelny, Russia;
ORCID: 0009-0004-5737-2670;
E-mail: lan-khamitova@yandex.ru

Аннотация

Представьте: вы читаете статью по своей специальности. Всё идёт хорошо, пока не встречается слово, которое вы видели сто раз, но в этом контексте оно звучит иначе. Вы обращаетесь к словарю. Потом ещё раз. Через десять таких манипуляций вы уже забыли, с чего начали. Это не проблема недостатка знаний – это проблема организации процесса чтения.

Решить эту проблему можно с помощью браузерного расширения «AcadRead». Оно не переводит текст целиком – от этого больше вреда, чем пользы. Вместо этого расширение подсвечивает термины, даёт краткую справку по клику и позволяет сохранить слово с контекстом в личный словарь. Вам не нужно открывать новые вкладки – всё здесь, на месте.

В данной статье мы расскажем, как нам пришла в голову эта идея, как продумывали логику расширения и что из этого вышло, когда мы сами его опробовали.

Конечно, расширение не научит языку и не заменит преподавателя. Это – инструмент. Инструмент, который избавляет нас от повторяющихся действий и даёт возможность сосредоточиться на смысловой части

Ключевые слова: техническая грамотность, цифровые навыки, браузерное расширение, английский для науки, термины, личный словарь, цифровое образование, нейросети

Abstract

Imagine you're reading an article on your subject. Everything's going well until you come across a word you've seen a hundred times, but it sounds different in this context. You consult the dictionary. Then again. After ten such manipulations, you've already forgotten where you started. This isn't a problem of lack of knowledge – it's a problem of organizing the reading process.

We tried to solve this with the "AcadRead" browser extension. It doesn't translate the entire text – that does more harm than good. Instead, the extension highlights terms, provides quick help with a click, and lets you save the word and its context to your personal dictionary. All this right in the browser window, without unnecessary tabs.

In this article, we explain how this idea was born, how we built the extension's logic, and what happened when we tried it ourselves.

Of course, the extension won't teach you a language or replace a teacher. It's simply a tool. A tool that eliminates unnecessary steps and leaves the reader alone with the content.

Keywords: technical literacy, digital skills, browser extension, English for science, terms, personal vocabulary, digital education, neural networks

Введение

Задумайтесь: что мы делаем, когда садимся за компьютер? В большинстве своем открываем сайты, проверяем почту, листаем ленту, иногда читаем статьи. Цифровая среда стала привычной, почти неизменной частью нашей жизни. Но за привычным – вызов. Техническая грамотность сейчас не про включение ПК и работы в Word. Сегодня это про осознанную работу с информацией: поиск, проверку, сопоставление, применение. И делать это нужно ответственно.

Для студентов и молодых специалистов этого особенно не хватает. Да, они умеют открывать браузер и искать информацию. Но где грань между надёжным источником и фейком? Как не утонуть в море ссылок? Как не просто найти ответ, а понять, правильный ли он? Вот это и есть настоящая цифровая грамотность. И она нужна не только программистам – инженерам, менеджерам, врачам, учителям. Любому, кто работает с информацией.

Особая головная боль многих – чтение профессиональных текстов на английском. Дело в том, что новые знания, термины и инструкции чаще всего появляются в начале на английском. Читатель может улавливать общий смысл, но как только попадается сложное выражение или сокращение – он теряет нить повествования. Читатель останавливается. Начинает мучительно вспоминать, что это значит. Переключается на переводчик. Возвращается. Снова теряет нить. В итоге чтение растягивается на часы, а в голове не складывается четкая картина.

Представьте типичную ситуацию. Студент открывает статью по программированию, биологии или экономике. Видит незнакомый термин. Копирует. Вставляет в переводчик. Открывает ещё две вкладки – сравнить варианты. Потом возвращается к тексту и силится вспомнить, о чём вообще шла речь. Если так делать по десять раз на страницу, ни о каком удовольствии от чтения речи нет. Хуже того – найденные слова так и остаются в истории браузера, а не в голове. Никакого личного словаря, никакого повторения.

Мы думаем, что браузерное расширение могло бы стать решением. Оно работает там же, где вы читаете, – не надо никуда переключаться. Подсказка появляется по запросу, и вы не

теряете контекст. В нашей работе мы представляем проект «AcadRead». Его задача – помочь быстро разобраться в терминах и сохранить полезные слова для будущих статей. Без суеты, без лишних движений.

Цель исследования – показать, как браузерное расширение может поддерживать техническую грамотность пользователей при чтении англоязычных научных текстов.

Для достижения цели необходимо решить несколько задач:

– объяснить, какие цифровые навыки связаны с технической грамотностью;

– описать трудности, возникающие при чтении научных материалов на английском языке;

– предложить функции расширения «AcadRead»;

– показать, как пользователь может работать с сервисом;

– определить, по каким признакам можно оценить удобство и полезность такого инструмента.

Основная часть

Программистом быть не обязательно. Но если вы претендуете на звание технически грамотного человека, вам придётся разбираться в том, как информация обрабатывается в цифровом мире, и действовать не на автомате, а с головой. Умеете ли вы отличить официальный сайт от подделки? Не спешите передавать личные данные первому попавшемуся сервису. Проверяете ли ответы нейросетей? А свои файлы вы организуете так, чтобы потом легко находить нужное? Всё это – элементы технической грамотности [2].

Что в неё входит? Навыков много, и все они взаимосвязаны. Это и поиск информации, и её перекрёстная проверка. Это и работа с файлами, облачными хранилищами, электронными документами. Это и понимание того, как вообще работают программы и сайты. Сюда же – безопасность: пароли, настройки доступа, персональные данные. И конечно, умение использовать цифровые инструменты для учёбы и работы, критически оценивать подсказки нейросетей, машинный перевод и автоматические ответы. Но главное, пожалуй, – это не просто потреблять контент, а учиться с помощью технологий.

Почему важен английский язык

Английский в науке и технике – это не просто «международный язык», а рабочий инструмент. На нём выходят статьи, документация, описания библиотек, инструкции, материалы конференций, открытые курсы. Перечислять можно долго. Суть в другом: даже когда есть хороший перевод, полезно заглянуть в оригинал. Там видны точные термины, нюансы формулировок, а ещё можно найти дополнительные ссылки [4].

Но главная трудность – не в том, чтобы перевести каждое незнакомое слово. С этим справится и словарь. Гораздо важнее уловить, какую роль понятие играет в предложении, увидеть, как оно работает в контексте, и запомнить это вместе с примером. Возьмём слово model. В машинном обучении это одна модель, в биологии – экспериментальная, в инженерном описании – схема. Без контекста переводчик выдаст что-то одно, и не факт, что правильное.

Цифровые помощники, конечно, облегчают жизнь. Они ищут определения, переводят куски текста [5], делают карточки для запоминания, собирают заметки. Удобно. Но доверять им без оглядки нельзя. Нейросеть может перепутать сокращение, не узнать специальный термин или предложить слишком общий вариант.

Как же правильно пользоваться такими сервисами? Правило простое: они обрабатывают информацию, а решение остаётся за вами [6]. Вы должны видеть источник, понимать, в каком контексте употреблено слово, и при необходимости поправлять результат.

Идея проекта

«AcadRead» – это проект браузерного расширения для чтения англоязычных научных текстов. Его можно использовать на сайтах с открытыми статьями, учебными материалами,

документацией и публикациями. После включения расширение анализирует текст открытой страницы и предлагает помощь в тех местах, где пользователь может встретить незнакомую или важную лексику.

Нам кажется важным не заменять оригинальный текст машинным переводом. Иначе теряется контакт с языком, а ещё появляется соблазн вообще не вникать. Поэтому мы пошли по другому пути: даём пояснение только тогда, когда вы сами кликнете на слово. Это сохраняет погружение в английский и сокращает число повторяющихся действий – не надо переключаться между вкладками, копировать, вставлять. Рассмотрим основные функции в таблице 1.

Таблица 1

Основные функции

Функция	Как работает	Польза
Подсветка терминов	Расширение отмечает слова и словосочетания, похожие на специальные понятия	Помогает быстрее заметить важную лексику
Карточка термина	По клику открывается перевод, короткое объяснение и пример	Не нужно вручную копировать слово в другой сервис
Личный словарь	Пользователь сохраняет выбранные слова и добавляет заметки	Можно вернуться к терминам после чтения
Сохранение контекста	Вместе со словом сохраняется предложение, в котором оно встретилось	Легче вспомнить значение и область применения
Аналитика текста	Сервис показывает примерную длину текста и количество отмеченных терминов	Помогает оценить объём работы до начала чтения
Настройки	Можно отключить подсветку, выбрать язык пояснений и категории словаря	Интерфейс подстраивается под задачу пользователя

Как проходит работа

Работу расширения можно представить в виде простой последовательности.

1. Пользователь открывает статью в браузере и включает «AcadRead».
2. Расширение получает текст со страницы и отделяет основной материал от меню, рекламы и служебных блоков.
3. Программа делит текст на предложения и слова, затем ищет возможные термины и устойчивые выражения.
4. Найденные элементы аккуратно отмечаются на странице.
5. Пользователь нажимает на интересующее слово и видит краткую карточку с пояснением.
6. При необходимости термин сохраняется в личный словарь вместе с предложением и комментарием.
7. По окончании работы пользователь вправе повторить выученные слова или выгрузить словарь в другой сервис.

Такой подход очень помогает, когда нужно быстро ознакомиться со статьёй, разобраться с технической документацией или подготовиться к лекции или семинару.

Пример использования

Допустим, студент читает англоязычную статью по анализу данных. В тексте встречается выражение *feature extraction*. Расширение выделяет его как возможный термин. После клика пользователь видит перевод «извлечение признаков», краткое объяснение о подготовке данных для модели и предложение из статьи, где это выражение использовано. Если термин нужен для курсовой работы, его можно сохранить в папку «Машинное обучение» и добавить заметку со своим примером.

Так пользователь не только получает перевод, но и формирует личную базу понятий. Позже сохранённые слова можно повторить перед экзаменом, использовать в отчёте или применить при чтении другой публикации.

У расширения есть модуль для обработки текста. Модуль делит материал на части, приводит слова к нормальной форме, определяет их функцию в предложении и оценивает вероятность того, что это термин. В качестве подсказок используются тематические словари, структура словосочетания и слова, которые находятся рядом.

Например, словосочетания с существительными и прилагательными часто встречаются в терминологии: *neural network*, *clinical trial*, *digital twin*. Но автоматическое выделение не может быть безошибочным. Обычная фраза иногда выглядит как термин, а редкое профессиональное сокращение может остаться незамеченным. Поэтому пользователь должен иметь возможность убрать ошибочную подсветку или вручную добавить нужное слово в словарь. Одно слово редко существует само по себе. Его смысл зависит от предложения, темы статьи и области знаний. Исходя из этого, карточка термина предоставляет не только перевод, но и контекст: определение, пример использования, тематическую метку и ссылку, где она допустима. При неуверенности системы – модуль предлагает несколько вариантов и предоставляет выбор пользователю. Такой подход честнее, чем вывод одного якобы точного ответа.

Разработка не обошлась без вопросов об конфиденциальности. Пользователю обязательно следует знать, какие данные обрабатываются. При передаче текста на внешний сервер это условие необходимо чётко прописывать. Для материалов, например корпоративных или неопубликованных, пользователю разумнее применять локальную обработку.

Личный словарь также должен оставаться под контролем пользователя. Необходимы такие функции, как экспорт, удаление и резервное копирование. При синхронизации между устройствами важно чётко обозначить, где хранятся данные и кто может с ними работать.

Для оценки эффективности «AcadRead» имеет смысл провести небольшое тестирование. Участникам предлагают прочитать два похожих по сложности англоязычных текста. Одной группе мы предлагаем расширение, другой – привычные инструменты перевода (словари и пр.). Затем мы оцениваем понимание текста по вопросам и фиксируем субъективные оценки.

Что мы замеряем? Время, количество переходов в другие вкладки, понимание прочитанного, сколько слов добавлено в словарь. И плюс – что пользователю нравится или категорически не нравится, а также где расширение ошибается с терминами или переводом.

На раннем этапе тестирование нужно не для громких выводов, а для улучшения продукта. Оно помогает увидеть, понятны ли кнопки, не мешает ли подсветка чтению, хватает ли информации в карточке и хотят ли пользователи возвращаться к словарю.

Можно ожидать, что пользователи оценят быстрый доступ к переводу и пояснению без постоянного переключения между вкладками. Полезным может оказаться сохранение терминов вместе с контекстом. В то же время часть людей предпочитает минимальное количество подсказок и может отключать автоматическую маркировку. Поэтому настройки должны быть простыми и заметными.

Также важно не завышать ожидания. Даже качественное расширение не гарантирует полное понимание сложной статьи. Оно позволяет быстрее вникнуть в текст, но не снимает

с вас необходимости знать предмет, ходить к преподавателю и регулярно самостоятельно заниматься английским.

Заключение

Сегодня техническая грамотность – это не просто «умею работать в программе». Это способность по-настоящему обращаться с цифровыми инструментами: находить информацию, анализировать и применять её там, где нужно. И одно из самых наглядных проявлений этой грамотности – работа с профессиональными источниками на английском.

В такой работе одного переводчика мало. Нужно ещё понимать термин в контексте, сохранять новое понятие, иметь возможность вернуться к нему через неделю или месяц. Всё это требует организованности.

Мы предлагаем объединить эти действия в одном месте – через браузерное расширение «AcadRead». Оно выделяет возможные термины, показывает краткие пояснения, помогает вести личный словарь. В итоге чтение становится более структурированным. Но главное, на наш взгляд, – не в автоматизации, а в том, что расширение убирает повторяющиеся операции. Оно не подменяет человека, а освобождает время для настоящего понимания.

Что дальше? В планах – расширение тематических словарей, поддержка других языков, улучшенное распознавание сокращений, интеграция с образовательными платформами. Но чтобы всё это работало по-настоящему, нужны объективные данные. Тестирование на более широкой выборке, чёткая методика, анализ реального использования.

При разумном подходе такие инструменты способны стать частью учебной среды. Они не сделают студента экспертом, но могут помочь ему увереннее ориентироваться в потоке технической и научной информации. А это уже немало.

Список литературы

1. Салганова Е. И., Осипова Л. Б. Цифровая грамотность студентов: компетентностный подход // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2023. Т. 16, № 1. С. 227–240. DOI: 10.15838/esc.2023.1.85.12.

2. Малетова М. И., Новикова Л. А. Цифровая грамотность студентов вузов: вызовы и возможности // Вестник Удмуртского университета. Серия «Философия. Психология. Педагогика». 2020. Т. 30, вып. 2. С. 195–203. DOI: 10.35634/2412-9550-2020-30-2-195-203.]

3. Волкова И. А., Петрова В. С. Формирование цифровых компетенций в профессиональном образовании // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2019. № 1. С. 17–24.

4. Солдатова Г. У., Рассказова Е. И. Психологические модели цифровой компетентности российских подростков и родителей // Национальный психологический журнал. 2014. № 2 (14). С. 27–35.

5. Солдатова Г. У., Рассказова Е. И. Мотивация в структуре цифровой компетентности российских подростков // Национальный психологический журнал. 2017. № 1 (25). С. 3–14. DOI: 10.11621/npj.2017.0101.

6. Савка О. Г. Модель формирования цифровых компетенций при реализации программ высшего образования // Российский технологический журнал. 2022. Т. 10, № 6.

7. Калашникова Е. К., Карпов Е. К. Цифровая грамотность студентов: методика, результаты и перспективы исследования // Вопросы образования. 2025.

8. Першин Д. В., Мосунова Л. А. Анализ вовлечённости студентов в цифровую среду как аспект изучения их информационной культуры // Культура и образование: научно-информационный журнал вузов культуры и искусств. 2026. № 1 (60).

9. Дудина О. В., Горбунова Т. В. Цифровая грамотность будущих педагогов-психологов // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 5.

УДК 378

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В НЕЯЗЫКОВОМ ВУЗЕ

Хаснутдинова С.В., к.пед.н., доцент кафедры иностранных языков, русского и русского как иностранного ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань;
ORCID: 0000-0001-8953-142X;
Зиганшина Н.Л., к.пед.н., доцент кафедры иностранных языков Альметьевского государственного технологического университета «Высшая школа нефти» (ВШН), г. Альметьевск, Россия;
ORCID: 0000-0003-4565-1977

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES TO DEVELOP EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL MATERIALS IN THE PROCESS OF TEACHING A PROFESSIONAL FOREIGN LANGUAGE IN A NON-LINGUISTIC UNIVERSITY

Khasnutdinova S.V., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Foreign Languages, Russian and Russian as a Foreign Language, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan;
ORCID: 0000-0001-8953-142X;
Ziganshina N.L., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Foreign Languages, Almetyevsk State Technological University «Petroleum Higher School» (PHS), Almetyevsk, Russia;
ORCID: 0000-0003-4565-1977

Аннотация

Статья посвящена вопросам обучения иностранным языкам и развития образовательной системы в условиях информатизации и глобализации общественной жизни и образования, в частности. В начале статьи внимание акцентируется на вопросе возможности применения искусственного интеллекта для создания учебно-методического материала при обучении иностранным языкам в неязыковом высшем учебном заведении как эффективного средства подготовки конкурентоспособных специалистов. Цель работы – рассмотреть возможности использования технологии искусственного интеллекта в обучении, их помощь в адаптации учебных материалов к уровню знаний студентов, дополнения традиционных форм обучения интерактивными и индивидуализированными подходами. В статье уделяется внимание состоянию учебной и методической литературы по иностранным языкам, работа с которой пересматривается в свете новых образовательных стандартов и технологий. Авторы описывают использование искусственного интеллекта для подготовки учебно-методических материалов при обучении профессиональному иностранному языку в неязыковых высших учебных заведениях. В статье отмечаются преимущества применения искусственного интеллекта, такие как индивидуальная обратная связь, автоматизация создания материалов для занятий, возможность мониторинга и контроля обучаемости студентов. Авторы рассматривают проблемы использования технологий искусственного интеллекта в разработке материалов, такие как качество полученного учебного материала, этические аспекты, техническая подготовка преподавателей, их цифровая компетентность, взаимодействие с экспертами из разных профессиональных областей в целях оптимизации учебного процесса. В статье отмечается важность

применения технологий искусственного интеллекта в высшем профессиональном образовании, что может хорошо сказаться на улучшении качества обучения и повышении мотивации студентов к изучению иностранных языков. В заключении авторы утверждают, что использование технологий искусственного интеллекта создает перспективы и содействует развитию образовательной практики, соответствующей современным стандартам рынка труда.

Ключевые слова: искусственный интеллект в обучении, профессиональный иностранный язык, разработка учебно-методического материала

Abstract

The article is devoted to the issues of teaching foreign languages and the development of the education system in the context of informatization and globalization of public life and education, in particular. At the beginning of the article, attention is focused on the question of the possibility of using artificial intelligence to create educational and methodical materials for teaching foreign languages in non-linguistic higher education institutions as an effective means of training competitive specialists. The aim of the work is to examine the possibilities of using artificial intelligence technology in education, its assistance in adapting educational materials to students' knowledge level, and supplementing traditional forms of education with interactive and individualized approaches. The article focuses on the state of educational and methodical literature on foreign languages, the work with which is being reviewed in light of new educational standards and technologies. The authors describe the use of artificial intelligence to prepare educational and methodical materials for teaching professional foreign languages in non-linguistic universities. The article highlights the advantages of using artificial intelligence, such as individual feedback, automation of lesson material creation, and the ability to monitor and control students' learning progress. The authors examine the challenges of using artificial intelligence technologies in the development of educational materials, such as the quality of the resulting educational content, ethical aspects, the technical training of teachers, their digital competence, and interaction with experts from various professional fields in order to optimize the learning process. The article highlights the importance of applying artificial intelligence technologies in higher professional education, which can have a positive impact on improving the quality of education and increasing students' motivation to study foreign languages. In conclusion, the authors argue that the use of artificial intelligence technologies creates opportunities and contributes to the development of educational practices that meet the modern standards of the labor market.

Keywords: artificial intelligence in education, professional foreign language, creation of educational and methodical materials

Введение

В условиях стремительной информатизации и глобализации система образования нацелена на подготовку конкурентоспособных специалистов. Данная задача требует пересмотра подходов к обучению и внедрения инновационных технологий для повышения качества, доступности и эффективности образования. Традиционные методы обучения, такие как лекции и лабораторные работы, уже не всегда соответствуют современным требованиям. В настоящее время традиционные методы на занятиях используются во взаимосвязи с интерактивными и персонализированными методам обучения, учитывающими индивидуальные особенности студентов и способствующими их активному участию в учебном процессе.

Учебная и методическая литература по иностранным языкам в настоящее время характеризуется разнообразием из-за изменений в образовательных стандартах, развития инновационных технологий и возрастающей глобализации. На сегодняшний день существует большое количество учебников, учебных пособий и учебно-методических комплексов и других материалов, охватывающих разные уровни и подходы к изучению иностранных языков. Традиционные (бумажные), электронные версии, интерактивные ресурсы могут быть использованы на занятиях и для самостоятельной работы. Развитие ключевых компетенций, таких как

коммуникативные навыки, критическое мышление являются основными целями современных учебно-методических материалов. Современные пособия уделяют внимание культурным аспектам языка, для того чтобы помочь обучающимся лучше понимать контекст, развивать межкультурную терпимость.

Большое влияние на учебную литературу оказала цифровизация образования. Различные онлайн-курсы, мобильные приложения и платформы для изучения языков позволяют студентам изучать язык в удобном для них формате, включают аудио- и видеоматериалы.

В то же время преподаватели вузов нацелены на более гибкий подход к обучению студентов, стараются переработать учебный материал под нужды практически каждой группы обучающихся. В этой связи использование технологий искусственного интеллекта при подготовке к занятиям и их проведении может значительно снизить нагрузку преподавателя как временную, так и физическую.

Разработка учебно-методического материала с использованием искусственного интеллекта (далее – ИИ) для обучения профессиональному иностранному языку в неязыковом вузе – это сложный процесс, который включает анализ уровня знаний студентов и их потребностей, создание материалов, адаптацию под специфику направления или специальности обучения и оценку эффективности. Основная цель – повысить эффективность усвоения профессионального материала, развить коммуникативные навыки и мотивацию студентов.

С появлением искусственного интеллекта ученые и педагоги исследуют возможности применения ИИ в учебном процессе. Так, Ковальчук С.В., Тараненко И.А. и др. рассматривают возможности инструментов ИИ с точки зрения оптимизации процесса обучения иностранному языку, описывают инструменты, оптимизирующие работу преподавателя и студентов [1]. Ю.Е. Валькова говорит о ключевых вариантах применения ИИ на занятиях [2]. Usmonova M.I., Yusupova N.M., Umarova N.E. освещают причины неоднозначного отношения преподавателей вузов к искусственному интеллекту, показывают преимущества его применения в образовательных целях, доступность и распространенность его использования [3].

Sysoyev P.V. обозначает лингводидактический потенциал существующих и разрабатываемых инструментов искусственного интеллекта, обращая внимание на типы обратной связи от генеративного искусственного интеллекта и типы интеллектуальных обучающих систем и их применение [4]. Kemelbekova Z. et al. анализируют внедрение и эффективность искусственного интеллекта в обучении английскому языку, изучая влияние чат-ботов с искусственным интеллектом на разговорные способности студентов [5]. М.В. Якутина предлагает коммуникативно-информативный подход, интегрируя ИИ для анализа текста и адаптации учебных материалов [6].

Белогурова М.Ю. уделяет особое внимание использованию современных инструментов ИИ для разработки учебных материалов, отмечает, что примеры успешной интеграции ИИ в образовательный процесс демонстрируют, как эти технологии могут оптимизировать процесс обучения, делая его более интерактивным и разнообразным [7].

Использование технологий искусственного интеллекта для создания учебных материалов является относительно новой областью. Этот вопрос еще недостаточно исследован с точки зрения профессионального обучения иностранным языкам. Применение технологий ИИ позволяет разрабатывать учебные материалы, которые подстраиваются под уровень знаний и потребности студентов.

Основная часть

Создание учебно-методического материала с помощью технологий искусственного интеллекта для обучения профессиональному иностранному языку в неязыковом вузе требует проведения определенных действий. Во-первых, до начала работы необходимо определить уровень иностранного языка и узнать потребности студентов. В начале учебного семестра или года проводится тестирование или опросы, которые дают возможность сделать карточку груп-

пы для создания учебных материалов. Следующим шагом, осуществляемым в течение учебного года, может стать создание преподавателем интерактивных чат-ботов и виртуальных помощников для ответов на вопросы студентов, дополнительных материалов.

Большая работа для преподавателя это автоматизированное создание учебного материала. Она включает подготовку текстов, заданий, тестов с помощью ИИ, в нашем случае обязательно учитывая профессиональную сферу студентов.

Чат-боты дают возможность обратной связи, данная работа проводится в рамках какой-либо площадки, мессенджера. Контроль и анализ эффективности обучения также может проводиться с помощью ИИ. Это позволяет своевременно вносить коррективы в образовательный процесс. В то же время не каждый преподаватель владеет информационными технологиями на таком уровне, чтобы сам мог осуществить техническую подготовку и поддержку.

В будущем, считаем, уже ближайшем, объединение мультимедиа и передовых технологий (виртуальной реальности, дополненной реальности) предоставит интересные возможности в изучении иностранного языка, создавая речевые профессиональные ситуации, с использованием видео, аудио материалов. Но уже сегодня может быть осуществлено междисциплинарное сотрудничество с экспертами и профессионалами из различных профессиональных областей для создания учебного материала высокого качества.

Разработка учебно-методического материала с помощью технологий искусственного интеллекта может дать много преимуществ, но этот процесс также имеет некоторые недостатки, также как и необдуманное использование информационных технологий [8]. Иногда надежность, качество, точность материала не соответствует необходимому уровню. Искусственный интеллект при создании текстов, заданий, тестов может сделать неточно или неактуально задания, могут быть языковые ошибки, неверно понят контекст. Все это преподаватель, создающий материалы для занятий, должен иметь в виду и постоянно контролировать. Материалы нужно вычитывать, отслеживая и корректируя все виды ошибок: лексических, грамматических, стилистических, языковых, технических, проводя поисковую работу, чтобы непроверенные факты и неверная информация не были пропущены.

Кроме того, использование ИИ зависит от технологий, и любые технические сбои могут нарушить порядок проведения занятия или даже сорвать учебный процесс. Вопросы авторских прав также еще не проработаны. Применение материала, созданного с использованием технологий ИИ, может создавать правовые риски, связанные с авторскими правами на разработанные материалы. То же самое можно сказать и о финансовых затратах. Конечно, преподаватели могут использовать бесплатные площадки, предоставляющие возможность использования технологий ИИ, но не все тарифы полностью бесплатны. Также не все преподаватели умеют работать с новыми технологиями, их обучение тоже связано с дополнительными затратами.

В целом, несмотря на значительные преимущества, разработка учебно-методического материала с использованием ИИ требует тщательной оценки возможных недостатков и вызовов, чтобы реализовать этот подход эффективно.

Искусственный интеллект открывает новые возможности для разработки учебно-методического материала в процессе обучения профессиональному иностранному языку в неязыковом вузе. В качестве примера использования ИИ был сделан запрос на платформе ChatAI: Сгенерировать тестовые задания, упражнения на английском языке по теме The career of an automotive engineer. Даже такой широкий запрос позволил получить ряд заданий:

Exercise 1: Match the words with their definitions. Подобрать слово и его определение.

1. Automotive Engineer
2. CAD (Computer-Aided Design)
3. Prototype
4. Emissions

5. Chassis

a. The structure that supports the vehicle's body and components.

b. A preliminary model of a vehicle used for testing.

c. A professional who designs vehicles and their components.

d. Pollutants released from the vehicle's exhaust.

e. Software used to create detailed designs and simulations.

Answers: 1(c), 2(e), 3(b), 4(d), 5(a)

Exercise 2: Fill in the Blanks. Заполнить пропуски словами в скобках.

(automotive engineer, design, mechanical systems, performance, testing)

1. An ___ works on various aspects of vehicle development.

2. The first step in a project is to ___ the vehicle's specifications.

3. An ___ is responsible for optimizing the vehicle's ___.

4. Once the design is complete, the ___ phase involves checking how well the vehicle operates.

Answers: 1. automotive engineer, 2. Design, 3. engineer, performance, 4. testing

Exercise 3: Read the following passage and answer the questions. Прочитать текст и ответить на вопросы.

An automotive engineer is responsible for designing, developing, and testing vehicles and their components. They work on mechanical systems, electrical systems, and even the aesthetics of the vehicle. Their goal is to create safe, efficient, and environmentally friendly vehicles. Automotive engineers often use advanced software like CAD to create and modify designs before building prototypes for testing.

Questions:

1. What are the main responsibilities of an automotive engineer?

2. Why do automotive engineers use CAD software?

3. What is the ultimate goal of an automotive engineer according to the passage?

Answers:

1. Designing, developing, and testing vehicles and their components.

2. To create and modify designs before building prototypes.

3. To create safe, efficient, and environmentally friendly vehicles.

Exercise 4: Discuss the following questions in pairs or groups. Обсудить вопросы в парах или группах.

1. What qualities do you think are important for an automotive engineer? Why?

2. How do you think electric vehicles will change the role of automotive engineers in the future?

3. What challenges might automotive engineers face in their job?

Exercise 5: Read the statements below and determine if they are true or false. Прочитать утверждения и сказать, верно или неверно.

1. Automotive engineers only focus on the design of vehicles.

2. Testing is an important phase in vehicle development.

3. Automotive engineers do not need to consider environmental impacts.

4. CAD is a common tool used by automotive engineers.

Answers: 1. False, 2. True, 3. False, 4. True

В данном случае мы не предоставили для ИИ-системы никаких материалов по курсу, поэтому искусственный интеллект составил задания общего характера. Обращаем внимание на то, что практически все вопросы кроме заданий на обсуждение представлены ответами. Все это позволяет преподавателям экономить время на разработке новых заданий и обновлении контента.

Выводы

Таким образом, разработка учебно-методических материалов с использованием технологий искусственного интеллекта чрезвычайно актуальна в настоящее время, отвечает

потребности в качественном, эффективном обучении иностранным языкам. Использование технологий ИИ позволяет создать учебные материалы, которые могут использоваться на занятиях для индивидуализированного и дифференцированного обучения студентов. Разработка учебно-методических материалов с помощью технологий ИИ дает возможность автоматически создавать учебные материалы, проводить мониторинг прогресса процесса обучения. Очевидные преимущества превышают недостатки процесса внедрения технологий ИИ в образовательный процесс: некоторые риски неправомерного использования данных, возможные ошибки в материале.

В целом использование технологий искусственного интеллекта в разработке учебно-методических материалов для обучения профессиональному иностранному языку имеет значительный потенциал, однако требует от преподавателей тщательного подхода к созданию учебного материала и мониторингу результатов.

Список литературы

1. Ковальчук, С. В. Оптимизация процесса обучения иностранному языку в вузе с помощью инструментов искусственного интеллекта / С. В. Ковальчук, И. А. Тараненко, М. Б. Устинова, Е. Н. Учайкина, Н. И. Фомина. – Текст: электронный // Современные проблемы науки и образования. – 2025. – № 2. – https://science-education.ru/ru/article/view?id=34022. DOI: https://doi.org/10.17513/spno.34022 (дата обращения: 09.07.2026).

2. Валькова, Ю. Е. Использование искусственного интеллекта на занятиях по иностранному языку в вузе / Ю. Е. Валькова. – Текст: электронный // Вестник Московского университета. Серия 20. Педагогическое образование. – 2025. – Т. 23. – № 1. – С. 137–151. https://doi.org/10.55959/LPEJ-25- 07 (дата обращения: 09.07.2026).

3. Usmonova, M. I. Artificial intelligence in teaching a foreign language in non-linguistic universities / M. I. Usmonova, N. M. Yusupova, N. E. Umarova. – Текст: электронный. – Текст: электронный // Web of Scientist: International Scientific Research Journal. – 2025. – Vol. 6. – № 3. https://wos.academiascience.org/index.php/wos/issue/view/50 (дата обращения: 08.08.2026).

4. Sysoyev, P. V. The use of artificial intelligence technologies in foreign language teaching: the subject of methodological works for 2023 and prospects for further research / P. V. Sysoyev. – Текст: электронный // Tambov University Review. Series: Humanities. – 2024. – № 29 (2). – P. 294-308. https://doi.org/10.20310/1810-0201-2024-29-2-294-308 (дата обращения: 09.07.2026).

5. Kemelbekova, Z. AI in teaching English as a foreign language: Effectiveness and prospects in Kazakh higher education / Z. Kemelbekova, X. Degtyareva, S. Yessenaman, D. Ismailova, G. Seidaliyeva. – Текст: электронный // XLinguae. – 2024. – Volume 17. – P. 69-83. DOI: 10.18355/XL.2024.17.01.05 (дата обращения: 08.08.2026).

6. Якутина, М. В. Использование искусственного интеллекта для анализа текста в обучении иностранным языкам в неязыковом вузе / М. В. Якутина. – Текст: электронный // МНКО. – 2025. – №2 (111). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-dlya-analiza-teksta-v-obuchenii-inostrannym-yazykam-v-neyazykovom-vuze (дата обращения: 16.08.2026).

7. Belogurova, M. Y. Using Artificial Intelligence Technologies for the Development of Teaching Materials for Non-Linguistics Students / M. Y. Belogurova. – Текст: электронный // Vestnik of Moscow State Linguistic University. Education and Teaching. – 2025. – №4 (857). – P. 9–15. https://mslu-vestnikedu.ru/2500-3488/article/view/366350/339586 (дата обращения: 08.08.2026).

8. Хаснутдинова, С. В. Информационные и коммуникационные технологии в обучении: преимущества и недостатки / С. В. Хаснутдинова, Н. Л. Зиганшина, В. А. Тубальцева. – Текст: электронный // Проблемы современного педагогического образования. – 2024. – № 84-1. – С. 338-341 (дата обращения: 08.08.2026).

УДК 378

ВИРАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОНТЕНТ В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КАДРОВ

Челнокова Т.А., д.пед.н., профессор кафедры теоретической и инклюзивной педагогики;
ORCID: 0009-0005-5521-7156;
E-mail: nauka@zel.ieml.ru;
Смирнов В.С., аспирант ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет им. В.Г. Тимирясова», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0000-1752-9718;
E-mail: Smirnov.beazz@yandex.ru

VIRAL DIGITAL EDUCATIONAL CONTENT IN THE TRAINING OF ENGINEERING AND TECHNICAL PERSONNEL

Chelnokova T.A., Doctor of education, professor of the chair on theoretical and inclusive pedagogics;
E-mail: nauka@zel.ieml.ru;
Smirnov V.S., Postgraduate Student, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Kazan, Russia;
E-mail: smirnov.beazz@yandex.ru

Аннотация

Авторами статьи рассматривается проблема подготовки инженерно-технических кадров, готовых к работе на современном производстве, построенном на современных технологиях. В статье делается акцент на цифровизацию образовательного процесса за счет активного использования в системе высшего образования информационных технологий. Обратившись к возможностям виральных цифровых технологий в организации обучения, авторы дают характеристику вирального цифрового контента. К ним относятся легкость формата (короткие видео, мемы), минимум возможных действий («поделиться»), быстрое понимание, элементы соревнования, мягкое предложение поделиться. С опорой на имеющиеся определения содержания понятий «контент», «виральный», «образовательный», «цифра» раскрывается понятие «виральный цифровой образовательный контент».

В статье перечисляются технологии обучения, благодаря которым осуществляется подготовка специалистов для высокотехнологических технологий (виртуальная (VR) и дополненная реальность (AR), интернет вещей (IoT), облачные технологии, симуляторы и CAD-системы и др.)

Статья имеет не только теоретическую, но и методическую ценность, в ней представлены примеры заданий, которые могут быть включены в учебный процесс. Приведенные примеры могут быть тиражированы в педагогической практике в организациях высшего образования.

Ключевые слова: виральность, виральный контент, цифровая компетентность, инженерно-технические кадры, цифровизация, цифровая экономика, мотивационный эффект, компетентностный подход

Abstract

The authors examine the issue of training engineering and technical personnel prepared for work in modern manufacturing environments based on advanced technologies. The article emphasizes the digitalization of the educational process through the active use of information technologies within the higher education system. Turning to the potential of viral digital technologies in organizing

learning, the authors characterize viral digital content. Key features include accessible formats (short videos, memes), minimal required actions (such as “sharing”), quick comprehension, elements of competition, and a subtle prompt to share. Drawing on existing definitions of the concepts of “content”, “viral”, “educational”, and “digital”, the concept of “viral digital educational content” is elucidated.

The article outlines the training technologies used to prepare specialists for high-tech fields (virtual reality (VR) and augmented reality (AR), the Internet of Things (IoT), cloud technologies, simulators, CAD systems, etc.).

The article holds not only theoretical but also methodological value, presenting examples of assignments that can be incorporated into the educational process. These examples can be replicated in teaching practice within higher education institutions.

Keywords: virality, viral content, digital competence, engineering and technical personnel, digitalization, digital economy, motivational effect, competence-based approach

Введение

Вопрос качества подготовки инженерно-технических кадров является актуальным вопросом, поставленным перед организациями высшего образования обществом и государством. Поиск новых подходов к его решению выстраивается с учетом особенностей цифровой эпохи. Глобальная цифровая сеть охватывает сегодня все сферы общественной жизни, внося перемены в жизнедеятельность всех социальных институтов. Под влиянием происходящих перемен возрастает необходимость активного использования в качестве инновационного инструментария возможностей информационных технологий. Использование информационных технологий в системе высшего образования обуславливается глобализацией образовательного процесса, необходимостью качества подготовки кадров для цифровой экономики.

К инновационному инструментарию в организации процесса подготовки будущих инженеров может быть отнесен виральный цифровой контент. Созданный на основе визуально привлекательных учебных материалов, которые могут быть интерактивными и легко распространяемыми в сети, виральный цифровой контент выступает важным средством в преодолении разрыва между теорией и практикой подготовки инженерно-технических кадров.

Термин «виральность» происходит от английского *virality* – «вирусный», им обозначается способность контента к самопроизвольному распространению среди пользователей. Цифровой ресурс обладает способностью распространяться среди широкой аудитории, набирая популярность среди пользователей. Такое свойство цифрового ресурса необходимо учитывать при формировании содержания учебных курсов, технологий осуществления образовательного процесса.

Методологической базой исследования стала система принципов и подходов в организации образования в высшей школе. Системный, личностно-ориентированный компетентностный подходы формируют основу педагогического взаимодействия в подготовке специалистов для экономики современной России. С позиции системного подхода учебный процесс рассматривается как целостная структура, которую невозможно представить без цифровых технологий. Личностно-ориентированный подход делает ориентацию на личность, ее активность, которую можно усилить за счет включения в учебный процесс взаимодействия студента с техническими устройствами. Компетентностный подход ориентирован на формирование практических умений и навыков, в том числе цифровых навыков и умений, на основе развития которых выстраиваются цифровые компетенции студента.

Основная часть

Подготовка инженерно-технических кадров базируется на современных достижениях науки, на практико-ориентированных подходах к обучению. В организации учебного процесса опора делается на усиление собственной активности обучающихся. В учебном процессе активно используются ситуации, обеспечивающие формирование у будущих специалистов навыков решения реальных производственных задач. «В процессе подготовки кадров, обуче-

ния студентов, преподаватель выступает не только в роли носителя знаний и проверяющего, а также выполняет важную функцию стимулирования познания у студентов» [1, с. 298]. В этой связи свой потенциал имеют информационные технологии, использование их возможностей в образовательной деятельности студентов становится обязательным элементом их профессиональной подготовки. Для обеспечения устойчивости подготовки инженерно-технических кадров важна собственная продвинутость преподавателя в знание отраслевых особенностей производства, тех цифровых технологий, которые обеспечат его будущее. Понимание преподавателями вуза сути цифровизации промышленного производства и возникающими вследствие его требованиями к кадрам цифровой экономики является востребованным условием организации подготовки инженерно-технических кадров.

В современном производстве активно развиваются процессы, когда оборудование, системы и сотрудники объединяются в единую сеть. В производство внедряются высокоточные автоматизированные комплексы, искусственный интеллект применяется для аналитики поломок оборудования, благодаря созданию виртуальных 3D-копий реального производства моделируются любые нагрузки, выявляются ошибки, обрабатываются большие данные и т.п. Владея знаниями в области технологических перемен, происходящих на производстве, преподаватель вуза должен создать условия обучения, которые подготовят студентов к работе в современных «умных» предприятиях.

В качестве ориентира деятельности организаций высшего образования выступает федеральный проект «Кадры для цифровой экономики» (один из разделов Национального проекта «Цифровая экономика») [2]. В документе поставлена задача подготовки компетентных специалистов, владеющих цифровыми технологиями. В этой связи возрастает актуальность внедрения в учебный процесс подготовки инженерно-технических кадров новых моделей обучения. Авторы статьи «Подготовка инженерно-технических кадров для высокотехнологических отраслей» отмечают актуальность таких технологий, как виртуальная (VR) и дополненная реальность (AR), интернет вещей (IoT), облачные технологии, симуляторы и CAD-системы и др. [3, с. 71]. Каждая из названных технологий влечет определенные перемены в образовательном взаимодействии. Например, иммерсивные технологии (виртуальная и дополненная реальности) заменяют мир вокруг, через шлемы позволяют погрузиться в симулированную среду, виртуальные объекты накладываются на физическое окружение.

Большое значение в обучении играют игровые технологии. Ценность этих технологий в подготовке инженеров связана с несущей ими возможностью объединить классическую теорию с симуляцией реальных производственных задач. Игровые технологии мотивируют познавательную активность студентов, развивают у них навыки принятия решений. Включение в образовательный процесс всех современных технологий, построенных на цифровом контенте, ускоряет процесс адаптации будущих специалистов к условиям современного предприятия.

В своем исследовании мы обратились к анализу цифрового образовательного контента и его возможностей в организации технического образования в вузе. Понятие «цифровой образовательный контент» является довольно новым понятием в педагогике, оно неразрывно связано с такими понятиями как «цифровая образовательная среда», цифровой инструментарий. Массовое внедрение термина «цифровой образовательный контент» (“digital content”) в нашей стране произошло в сентябре 2021 года и связано с запуском государственной платформы ЦОК Минцифры и Минпросвещения РФ. Термин используется для обозначения учебных материалов, представленных в цифровом виде. Цифровой образовательный контент – это интерактивные курсы, видеолекции, виртуальные лаборатории, симуляции, разнообразные электронные тренажеры, проверяющие тесты.

Весной 2024 года Европейской комиссией было проведено исследование текущего состояния дел в сфере цифрового образовательного контента в Европе. В результате исследования был сделан обзор литературы относительно существующих определений понятия «цифровой образовательный контент» [4]. Основными видами цифрового контента являются:

– текстовый контент, как то статьи, электронные книги, блоги, публикации в социальных сетях и т.п.;
– видеоконтент, например, короткие трехминутные ролики или онлайн курсы;
– визуальный контент (фотографии, мемы);
– аудиоконтент (озвучивание информации);
– интерактивный контент (игры, викторины).

Каждый из названных видов цифрового контента может получить образовательную значимость и быть включенным в образовательный процесс для решения задач образования. Его преимущества связаны с доступностью и возможностью широкого распространения информации, которая хранится на цифровых носителях, повышением ее узнаваемости, возможностью отслеживать взаимодействие с целевой аудиторией с внесением необходимых коррективов.

М.Р. Илакавичус, А.М. Моргунов, исследуя сущность понятия «цифровой образовательный контент», обратили внимание на смысл термина «контент» (от английского «содержание»), прилагательное «образовательный» (способствующий образованию), подчеркнули «наличие конкретной педагогической цели в его использовании» [5, с. 159]. Авторы отметили использование термина «цифровой», происходящего от латинского слова digitus (цифра), означает систему переработки и хранения информации. С опорой на проделанный авторами статьи семантический анализ понятия «цифровой образовательный контент» можно отметить, что данным термином обобщается новая схема взаимодействия обучающихся с педагогом и учебным материалом. Это новое взаимодействие призвано улучшить качество образования, усилить адаптивную готовность студента к решению учебных задач в настоящем, профессиональных в будущем.

В своем исследовании, обращенном к проблеме подготовке инженерно-технических кадров для работы на высокотехнологичном производстве, мы остановились на проблеме виральности цифрового контента. Виральность цифрового контента – это его способность быстро распространятся в сети интернет. Данная способность связана с психологической привлекательностью, алгоритмом социальных сетей. Главным двигателем выступает умение контента вызвать сильные эмоции (удивление, радость, возмущение). В эмоциях рождается желание поделиться информацией с другими. Особенностью вирусных материалов является возможность их быстрого усвоения по причине простоты восприятия. На скорость распространения информации влияет интерес к ним. Сигналом того, что публикация является интересной, будет большое количество лайков, комментариев, репостов.

Учитывая свойства виральности цифрового контента, в ходе своего исследования мы решили осмыслить возможность преобразования учебных материалов и заданий для студентов, выстроенных с опорой на виральность. В этой связи в качестве нового понятия в дидактике высшей школы можно выделить понятие «виральный цифровой образовательный контент». Нам кажется, что введение понятия виральности в педагогическое исследование вполне оправдано. Ведь присущие ей свойства могут стать важной основой популяризации учебной и производственной информации, усиливая эффективность и результативность обучения.

Придавая учебному материалу способность быстро распространяться в сети за счет того, что студенты как пользователи делятся им друг с другом, можно превратить обучение в элемент социального статуса в цифровой среде. Заразительность и увлекательность учебного материала, базирующего на идеях виральности, сделает его более доступным для освоения, мотивируя учебную активность студентов.

В этой связи появляется новое требование к проектированию образовательной деятельности студентов. Данное требование базируется на идеях практической пользы и эмоционального отклика вводимого в образовательный процесс учебного материала. Дидактическими требованиями построения учебного материала на идеях виральности остаются:

– научность и системность: учебный материал отражает современные достижения науки и техники, поддерживает логическое единство, двигаясь от общего к частному, создает целостную картину развития современного производства;

– фундаментальность и профессиональная направленность любых учебных курсов обеспечиваются на основе междисциплинарного взаимодействия, практико-ориентированностью обучения, когда любое теоретическое знание закрепляется реальными примерами из практики реального производственного процесса;

– наглядность и алгоритмизация: визуализация инженерных процессов через использования системы графиков, 3D-моделей, инографики и т.п. с включением в учебный процесс разнообразных схем, инструкций, алгоритмов;

– интерактивность, предполагающая активность включения студентов в учебную деятельность, в решение учебных задач, выбирая свои варианты ответов при проверке знаний в форме викторин, квизов (интеллектуальная командная игра), актуализация субъектного опыта студентов.

Актуальным принципом построения учебного процесса в вузе остается принцип доступности. Он предполагает, что обучение строится в зоне ближайшего развития. Виральный цифровой образовательный контент, упрощающая восприятие сложнейших тем, способствует реализации обозначенного принципа в учебном процессе.

Для придания практической направленности проведенного исследования нами были разработаны учебные задания, построенные на идеях виральности образовательного контента. Их выполнение студентами не только повышает учебную мотивацию, но становится основой приобретения новых цифровых компетенций, актуальных для современного специалиста навыков применения новых технологий, предполагающих информационную грамотность, коммуникацию и создание контента. Нельзя не согласиться с утверждением, что «ключевой составляющей понятия «цифровая компетентность» является понятие “цифровые навыки”» [6]. Поэтому большое значение в профессиональной подготовке инженерно-технических кадров приобретают задания, выполнение которых строится на работе с информационными технологиями.

Примеры учебных заданий с использованием вирального цифрового контента:

1. «Разблокируй следующую тему»

Описание задания: Учебный материал разделяется на небольшие смысловые блоки. После выполнения задания по текущему блоку студент получает доступ к следующему.

Мотивационный эффект: Постепенный прогресс и желание завершить цепочку.

2. «Выбери маршрут»

Описание задания: Студент самостоятельно выбирает последовательность изучения нескольких тематических модулей или кейсов.

Мотивационный эффект: Автономность и чувство контроля над обучением.

3. «Миссия дня»

Описание задания: Каждое занятие начинается с небольшого задания (2–3 минуты), связанного с темой занятия.

Мотивационный эффект: Быстрое достижение первого результата и включение в работу.

4. «Охота за примерами»

Описание задания: Студент находит в интернете, СМИ или социальных сетях реальный пример, иллюстрирующий изучаемую тему.

Мотивационный эффект: Связь теории с окружающей информационной средой.

Выводы

Процесс подготовки инженерно-технических кадров, готовых к работе на «умных предприятиях» требует активного включения в учебный процесс образовательных технологий, способных усилить мотивационный эффект обучения. Рассматривая дидактические возможности вирального образовательного контента, нельзя не увидеть его потенциал в оптимизации учебного взаимодействия, показателем результативности которого становится интеграция студентами теоретических знаний и практических навыков в их применении с опорой на

цифровые технологии. Присущие виральному цифровому контенту свойства (простата передачи, элементы соревнований, мягкое предложение поделиться информацией) делают построенные на его основе учебные задания более интересными для современного поколения студентов. Разрабатывая учебные задания, предполагающие работу с цифровыми инструментами, преподаватель будет способствовать развитию цифровых компетенций, цифровых навыков, цифровой грамотности, тех качеств будущих инженеров, которые востребованы сегодня на современном производстве. А приобретаемые в процессе обучения знания будут приближены к реальной практике.

Список литературы

1. Пугин К. Г. Обеспечение устойчивости подготовки инженерно-технических кадров для водного транспорта / К. Г. Пургин // В сборнике: Актуальные решения проблем водного транспорта. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. Астрахань, 2025. – С. 297-301.

2. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – https://base.garant.ru/72190282/ (дата обращения: 8.07.2026).

3. Самакаева, М. Д. Подготовка инженерно-технических кадров для высокотехнологических отраслей / М. Д. Самакаева, И. Н. Ковалев, В.С. Грачев // Экономика и управление: проблемы и решения, 2025. – Т.10. №2. – С. 65-74.

4. Digital Education Content in the EU – state of play and policy options. European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Directorate C – Innovation, Digital Education and International Cooperation, Unit – С. 4.

5. Илакавичус, М. Р. Понятие «цифровой образовательный контент» в современной педагогике / М. Р. Илакавичус, А. М. Моргунов // Вестник Уфимского юридического университета, МВД России, 2025. – №3 (109). – С. 156-168.

6. Кальницкая, И. В. Модель цифровой компетенции студентов / И. В. Кальницкий, О. В. Максимочкина // Проблемы современного образования. – 2022. – № 4. – С. 204-218. DOI: 10.31862/2218-8711-2022-4-204-218.

УДК 37.01:004.896

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ НАСТАВНИЧЕСТВО: АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВНЕДРЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Червонный М.А., д.пед.н., доцент, профессор кафедры физики и методики обучения физике, директор центра дополнительного физико-математического и естественнонаучного образования;
ORCID: 0000-0002-4459-5726;
E-mail: mach@tspu.edu.ru;
Абакумова Н.Н., к.пед.н., доцент факультета психологии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», старший научный сотрудник центра дополнительного физико-математического и естественнонаучного образования;
ORCID: 0000-0003-3221-0400;
E-mail: niv_tomsk@mail.ru;
Глухов А.П., к.филос.н., доцент кафедры педагогики и управления образованием, директор Научно-образовательного центра цифровой дидактики и искусственного интеллекта в образовании ФГБОУ «Томский государственный педагогический университет», г. Томск, Россия;
ORCID: 0000-0002-9919-5316;
E-mail: glukhovap@tspu.ru

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO PEDAGOGICAL MENTORING: ANALYSIS OF IMPLEMENTATION MODELS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Chervonnyy M.A., D.Sc. (Education), Associate Professor, Professor of the Department of Physics and Methods of Teaching Physics, Director of the Center for Additional Physical, Mathematical and Natural Science Education;
ORCID: 0000-0002-4459-5726;
E-mail: mach@tspu.edu.ru;
Abakumova N.N., Ph.D. (Education), Associate Professor, Faculty of Psychology, National Research Tomsk State University, Senior Researcher at the Center for Additional Physical, Mathematical, and Natural Science Education;
ORCID: 0000-0003-3221-0400;
E-mail: niv_tomsk@mail.ru;
Glukhov A.P., PhD (Philosophical Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Pedagogy and Educational Management, Director of the Scientific and Educational Center for Digital Didactics and Artificial Intelligence in Education, Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia;
ORCID: 0000-0002-9919-5316;
E-mail: glukhovap@tspu.edu.ru

Аннотация

Индивидуальное наставничество даёт эффект, но недоступно в массовом образовании. ИИ – это способ масштабирования персонализации, но проблема в педагогическом разделении функций между алгоритмом и человеком. Модели наставничества с ИИ персонализируют обучение, но дефицитарны в эмоциональном интеллекте. Социально-эмоциональная поддержка остаётся за педагогом. Важно качество дискурса. Отечественные университеты используют ИИ для администрирования и базовой помощи. Зарубежные кейсы демонстрируют разработки от проверки работ до полной интеграции в учебный процесс. Выявлены противоречия: между эффективностью и смыслом, управляемостью и свободой, алгоритмической справедливостью и уникальностью, а также между педагогической агентностью и автономизацией ИИ. Ни одна модель не развивает субъектность студента. Необходимы лонгитюдные исследования, этические фреймворки и адаптация к российскому контексту. Реалистичный сценарий – комплементарность человека и ИИ при активной роли педагога.

Ключевые слова: искусственный интеллект, гибридное наставничество, персонализация обучения, ИИ-тьютор, когнитивное ученичество, агентность обучающегося

Abstract

Individual mentoring is effective but inaccessible in mass education. AI is a way to scale personalization, but the problem lies in the pedagogical division of functions between algorithm and human. AI mentoring models personalize learning but are deficient in emotional intelligence. Socio-emotional support remains with the teacher. The quality of discourse is important. Russian universities use AI for administration and basic assistance. Foreign cases demonstrate developments from assignment checking to full integration into the educational process. Contradictions are revealed: between efficiency and meaning, controllability and freedom, algorithmic fairness and uniqueness, and between pedagogical agency and AI autonomization. No model develops student subjectivity. Longitudinal studies, ethical frameworks, and adaptation to the Russian context are needed. A realistic scenario is complementarity between human and AI with an active role of the teacher.

Keywords: artificial intelligence, hybrid mentoring, personalized learning, AI tutor, cognitive apprenticeship, student agency

Фундаментальная дилемма индивидуализации обучения, эмпирически зафиксированная Б. Блумом [1] как «проблема 2 сигм», остаётся неразрешённой в массовом образовании: индивидуальное наставничество обеспечивает повышение академических результатов в среднем на два стандартных отклонения, но недоступно большинству учащихся из-за кадровых ограничений. Искусственному интеллекту приписывают способность масштабировать персонализированное сопровождение, однако ключевая проблема, по нашему убеждению, лежит в определении оптимального баланса между автоматизированными и человеческими компонентами наставнической деятельности [2, 3]. Мета-анализы демонстрируют положительное влияние ИИ на краткосрочные академические результаты [4, 5], но одновременно фиксируют нерешённые вопросы: поиск баланса между персонализацией и самостоятельностью [6], оценка агентности обучающегося в адаптивных средах, учёт национальных педагогических традиций. Цель работы – систематический обзор и сравнительный анализ моделей гибридного наставничества с выявлением педагогических оснований, механизмов адаптации и ограничений.

Теоретическую рамку составили когнитивное ученичество [Collins, Brown, Newman, 1989], саморегулируемое обучение [Zimmerman, 2002], социокультурная теория [Выготский, 1978] и концепция реляционной агентности [Edwards, 2005]. Аналитический обзор выполнен по базам Scopus, Web of Science и elibrary.ru за 2020–2025 гг. с ключевыми словами: «hybrid mentoring», «AI mentor», «cognitive apprenticeship», «personalized learning», «наставничество», «искусственный интеллект». После скрининга более 200 публикаций отобраны 6 моделей, наиболее полно отражающих различные педагогические подходы и уровни технологической реализации.

В таблице приведены сравнительные характеристики шести моделей гибридного наставничества.

Первая модель METIS – это инструментальный ИИ-ассистент для научного наставничества [7] с маршрутизацией по этапам исследовательской работы. Система включает модули поиска, проверки методологии и долговременной памяти, превосходя GPT-5 и Claude в 54–71% случаев.

Вторая модель hH-GenAI CAM, представляет собой смешанную модель когнитивного ученичества [8] использует чат-бота TeachPal как виртуального наставника, дополняющего преподавателя. Модель реализует обратную связь, рефлексивные вопросы и поддержку саморегуляции, но её эффективность критически зависит от качества диалога.

Следующая модель LearnLM – это разработанный Google педагогически ориентированный тьютор, обученный на обратной связи от экспертов-преподавателей. Позволяет настраивать сценарии (дебаты, медицина, программирование) и повышает вовлечённость студентов.

Модель Brainy Socratic Tutor 2.0 (EON Reality) представлена в виде сократического аватара с когнитивным графом идентичности, сохраняющим историю диалогов и уровни таксономии Блума. Декларирует эффект, сопоставимый с «2 сигма», но требует независимой верификации.

GNN-RAG+AdaICL является мультимодальной системой с распознаванием эмоций по мимике и голосу, строит динамическую модель обучающегося на основе биографических, когнитивных и аффективных данных, позиционируясь как «рефлексивный компаньон».

Единственная азиатская модель Squirrel AI, попавшая в данную выборку, это широко персонализирующая обучение китайская платформа, представленная на UNESCO Digital Learning Week, где ИИ выполняет диагностику и рутинную поддержку, а живые наставники интерпретируют данные и обеспечивают эмоциональное сопровождение. Модель MCM тренирует навыки высшего порядка и нацелена на автономное обучение [9].

Сравнительный анализ выявляет четыре фундаментальных противоречия гибридного наставничества. Первое противоречие – знания против сочувствия и сопереживания. ИИ отлично справляется с передачей фактов и логикой, но совершенно не умеет сопереживать,

Таблица

Сравнение моделей гибридного наставничества

Характеристики	METIS	hH-GenAI CAM	LearnLM	Brainy Socratic 2.0	GNN-RAG+AdaICL	Squirrel Ai
Функция ИИ	Ассистент для исследователей	Виртуальный консультант – чат-бот	Тьютор с педагогическим алгоритмом	Умный собеседник	Рефлексивный помощник	ИИ-диагност + ассистент
Методологическая база	Этапное научное руководство	Когнитивный подход (ученичество)	Педагогические инструкции	Метод сократических диалогов	Социо-конструктивный уклон	МСМ (мышление, способности, методология)
Адаптивный механизм	Поэтапная траектория	Дает обратную связь по необходимости	Настройка гибкая – учителем	Помнит особенности ученика	Высокая динамика адаптивности	Диагностика + адаптивные упражнения
Уровень эмпатии и такта	Отсутствует	Низкий	Базовый	Высокая вовлеченность	Очень тактичный, многонаправлен-ный	Средний (через настав-ников-людей)
Подтвержденная результативность	71% выбирают его вместо Claude	Результаты нестабильны	Предпочтение экспертов	2 Sigma эффект	В стадии апробации	Признана UNESCO
Барьеры	Ошибки определения этапов	Качество диалогов	Выражен риск частой помощи и подсказок	Коммерческий продукт	Высокая вычислительная сложность	Зависимость от человеческих наставников

чувствовать настроение и поддерживать эмоционально. Поэтому заботу о мотивации и психологическом комфорте приходится оставлять живому наставнику [2]. Второе противоречие – индивидуальный подход против свободы ученика. Когда система подстраивает материал под ученика – это хорошо, но это не равносильно развитию у него собственной инициативы и умения принимать решения [10]. Если ИИ помогает слишком активно и много подсказывает, ученик перестаёт пробовать самостоятельно и теряет навык независимого мышления [6]. Третье противоречие – реальная польза против иллюзии удобства. Те системы, которые кажутся наиболее приятными и лёгкими в использовании, часто несут опасность, поскольку они провоцируют ученика перекладывать всё мышление на алгоритм, бездумно соглашаться с рекомендациями и не проверять их критически. И наконец, четвёртая контрадикторность – роль педагога против самостоятельности ИИ. Возникает напряжение между тем, как учитель видит процесс, и тем, как ИИ пытается всё взять в свои руки. Настоящий успех достигается только тогда, когда ИИ выступает помощником, а не заменяет учителя – усиливает его воздействие, а не вытесняет [3]. Ни одна из рассмотренных моделей не содержит механизмов целенаправленного развития агентности студента и вся персонализация сводится к адаптации без контроля меры помощи и поэтапного переноса ответственности.

Систематический обзор шести моделей гибридного наставничества позволяет заключить, что гибридное наставничество перспективно, но все модели эффективны преимущественно в краткосрочной перспективе, лонгитюдные данные отсутствуют. Дефицит эмоционального интеллекта остаётся общим ограничением, а педагог незаменим для интерпретации затруднений и поддержки. Ни одна модель не решает задачу развития агентности, что создаёт риск «костыля» для мышления. Азиатская модель Squirrel Ai показывает один из альтернативных вариантов, в котором чётко разделяются функции при сохранении человеческого участия. В будущем внимание должно быть направлено на продолжительные исследовательские схемы, этические конструкты и адаптацию зарубежных решений к российскому контексту, где традиции фундаментальности и воспитательной функции требуют особого подхода. Подход, при котором искусственный интеллект усиливает возможности педагога, а не заменяет его, выглядит наиболее вероятным.

Благодарности

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 26-18-00832, https://rscf.ru/project/26-18-00832/

Список литературы

1. Bloom B.S. The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring // Educational Researcher. 1984. Vol. 13, No. 6. P. 4–16. DOI: 10.3102/0013189X013006004.

2. Donner M.-T., Hummel S. Systematic Literature Review of AI-based Mentoring in Higher Education. TU Dresden, 2025. DOI: 10.13140/RG.2.2.26529.52320. URL: https://fis.tu-dresden.de/portal/en/publications/systematic-literature-review-of-aibased-mentoring-in-higher-education (дата обращения: 27.08.2026).

3. Long D.Y., Wang S., Md Rashid S., Lu X.T. Artificial Intelligence in Higher Education: A Systematic Review of Its Impact on Student Engagement and the Mediating Role of Teaching Methods // Frontiers in Education. 2025. Vol. 10. Art. 1648661. DOI: 10.3389/feduc.2025.1648661.

4. Huang A.Y.Q., Lu O.H.T., Yang S.J.H. Effects of artificial intelligence-enabled personalized recommendations on learners' learning engagement, motivation, and outcomes in a flipped classroom // Computers & Education. 2023. Vol. 194. Art. 104684. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104684.

5. Wu X., Zhu P., Zhang J., Yin M., Wang Y. ChatGPT's Impact on Student Learning Outcomes: A Meta-Analysis of 35 Experimental Studies // Humanities and Social Sciences Communications. 2026. Vol. 13. Article 07019-z. DOI: 10.1057/s41599-026-07019-z.

6. Kasneci E., Sessler K., Küchemann S., et al. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large language Models for Education // Learning and Individual Differences. 2023. Vol. 103. Art. 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.

7. Kumar A.R., Trehan D., Chopra P. METIS: Mentoring Engine for Thoughtful Inquiry & Solutions. arXiv.org, 2026. URL: https://arxiv.org/pdf/2601.13075 (дата обращения: 27.08.2026).

8. Adler I., Shani Y. Hybrid Human-GenAI Cognitive Apprenticeship: Encouraging Pre-Service Teachers to Implement Instructional Practices to Support Students' Self-Regulated Learning // Teaching and Teacher Education. 2026. Vol. 169. Art. 105268. DOI: 10.1016/j.tate.2025.105268.

9. Dr. Joleen Liang of Squirrel Ai Speaks at UNESCO, Showcasing China's AI-Powered Education Practices. EIN Presswire, 2025. URL: https://www.einpresswire.com/article/850566040/dr-joleen-liang-of-squirrel-ai-speaks-at-unesco-showcasing-china-s-ai-powered-education-practices (дата обращения: 27.08.2026).

10. Сошенко И. И., Червонный М. А., Абакумова Н. Н. Профессиональные инициативы студентов как фактор развития субъектности будущих педагогов // Вестник Томского государственного университета. 2023. № 492. С. 169-180. DOI 10.17223/15617793/492/19. EDN USTDZM.

УДК 377.112.4

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ В ПРЕПОДАВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ» В СПО

Шигапова Л.Р., преподаватель ГБПОУ «Альметьевский профессиональный колледж», г. Альметьевск, Россия;
ORCID: 0009-0000-7476-3009

APPLICATION OF INTERACTIVE TEACHING METHODS IN TEACHING TECHNICAL DISCIPLINES IN THE SPECIALTY OF «MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY» IN SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION

Shigapova L.R., Lecturer, Almetyevsk Professional College, Almetyevsk, Russia;
ORCID: 0009-0000-7476-3009

Аннотация

Статья посвящена анализу особенностей применения интерактивных методов обучения в преподавании технических дисциплин студентам среднего профессионального образования по специальности «Технология машиностроения». Рассматриваются теоретические основы интерактивного обучения, обосновывается необходимость внедрения активных методов работы в условиях современных требований ФГОС СПО и запросов высокотехнологичных машиностроительных предприятий. Анализируются конкретные формы интерактивного обучения: проектный метод, кейс-технологии, деловые игры, дискуссии, виртуальные тренажеры и симуляторы. Определяются преимущества интерактивных технологий для формирования профессиональных компетенций будущих техников-технологов машиностроительного профиля. Представлены результаты внедрения интерактивных форм обучения, выявлены проблемы и перспективы развития данного направления в практике российских техникумов и колледжей.

Ключевые слова: интерактивные методы обучения, технология машиностроения, среднее профессиональное образование, профессиональные компетенции, кейс-технологии, проектное обучение, виртуальные тренажеры, деловая игра, практико-ориентированное обучение

Abstract

This article is devoted to the analysis of the specifics of using interactive teaching methods in teaching technical disciplines to students of secondary vocational education in the specialty "Mechanical Engineering Technology". The theoretical foundations of interactive learning are examined, and the necessity of introducing active methods of work under the modern requirements of the Federal State Educational Standard of Secondary Vocational Education and the demands of high-tech machine-building enterprises is substantiated. Specific forms of interactive learning are analyzed, including project-based learning, case studies, business games, discussions, virtual training simulators, and training systems. The advantages of interactive technologies for developing the professional competencies of future mechanical engineering technicians and technologists are identified. The article presents the results of implementing interactive learning methods, identifying challenges and prospects for the development of this approach in Russian technical schools and colleges.

Keywords: interactive teaching methods, mechanical engineering technology, secondary vocational education, professional competencies, case studies, project-based learning, virtual training simulators, business games, practice-oriented learning

Вызовы цифровой трансформации промышленности и профессиональное образование

Российская система среднего профессионального образования на протяжении последних лет переживает этап глубокой трансформации, обусловленной запросами высокотехнологичного производства и изменением требований работодателей к уровню подготовки выпускников. Особенно остро эта проблема проявляется в машиностроительной отрасли. Впрочем, здесь речь идет не столько о количественной нехватке кадров, сколько о качественном несоответствии выпускников реальным условиям современных производств, где цифровое проектирование, автоматизированные станки с ЧПУ и аддитивные технологии стали повседневной нормой.

Федеральные государственные образовательные стандарты СПО, актуализированные в 2023-2024 гг., напрямую фиксируют необходимость формирования не только предметных знаний, но и комплекса профессиональных и общих компетенций, которые невозможно выработать в условиях традиционного лекционно-семинарского формата. Для специальности 15.02.16 «Технология машиностроения» это означает готовность выпускника к решению производственных задач в условиях неопределенности, способность работать в команде, принимать технологические решения и нести за них ответственность – качества, недостижимые через пассивное прослушивание материала.

Противоречие между устаревшими методами преподавания и требованиями современной промышленности заметно уже на этапе производственной практики. По данным Миасского машиностроительного колледжа, только 42% студентов, прошедших традиционную подготовку, демонстрируют готовность к самостоятельному решению технологических задач на предприятии [1]. Работодатели фиксируют у значительной части выпускников неспособность применять теоретические знания в условиях реального производственного процесса, отсутствие навыков работы в команде и низкий уровень мотивации к профессии. Это формирует запрос на качественное изменение образовательной практики – переход от репродуктивного усвоения информации к активному, деятельностному освоению профессиональных действий.

Интерактивные методы обучения здесь рассматриваются как один из инструментов, позволяющих приблизить учебный процесс к реальной производственной среде. Впрочем,

проблема заключается не только в их внедрении – скорее, в адаптации этих методов к специфике технических дисциплин, где значительная часть материала связана с освоением сложных технологических операций, работой с оборудованием и расчетными методиками. Исследование эффективности таких подходов в условиях СПО машиностроительного профиля остается актуальной научно-практической задачей.

Теоретические основы и классификация интерактивных методов в техническом образовании

Понятие «интерактивное обучение» в российской педагогической литературе устойчиво связывается с активным взаимодействием всех участников образовательного процесса, при котором студент выступает субъектом собственной учебной деятельности, а не пассивным получателем информации. В отличие от традиционной модели «преподаватель – источник знаний, студент – реципиент», интерактивная модель строится на диалоге, совместном решении задач и рефлексии полученного опыта [2].

В контексте технических дисциплин по специальности «Технология машиностроения» интерактивные методы могут быть классифицированы по нескольким основаниям. По форме организации учебного взаимодействия выделяются:

– дискуссионные методы (групповая дискуссия, анализ производственных ситуаций, разбор конкретных технологических решений);

– игровые методы (деловые и ролевые игры, имитационное моделирование производственных процессов);

– проектные методы (разработка технологических процессов, проектирование оснастки и инструмента);

– кейс-технологии (решение реальных производственных задач предприятий-партнеров);

– тренинговые методы (работа на виртуальных симуляторах станков с ЧПУ, сварочных процессов, технологических операций).

По степени погружения в профессиональную среду различают методы с элементами виртуализации (симуляторы, Virtual Reality-лаборатории) и методы с использованием реального производственного оборудования в учебных мастерских. Первые особенно актуальны для формирования базовых навыков работы на дорогостоящем оборудовании без риска его повреждения; вторые – для закрепления компетенций в условиях, максимально приближенных к производственным.

По характеру учебной задачи интерактивные методы делятся на репродуктивно-деятельностные (отработка стандартных технологических операций в условиях командного взаимодействия) и творческо-поисковые (проектирование нестандартных технологических решений, оптимизация процессов, разработка новых видов оснастки). Именно вторая группа в наибольшей степени соответствует требованиям компетентностного подхода, закрепленного в обновленных ФГОС СПО.

Теоретическое обоснование применения интерактивных методов опирается на несколько концептуальных положений. Во-первых, это принцип деятельностного подхода – знания формируются не через усвоение информации, а через осмысленное действие, в процессе которого студент сталкивается с проблемой, ищет пути ее решения и рефлексирует полученный результат. Применительно к машиностроению это означает переход от изучения технологических операций «в теории» к их освоению через проектирование реального техпроцесса для конкретной детали.

Во-вторых, практико-ориентированный подход требует максимального приближения учебного процесса к условиям будущей профессиональной деятельности [3]. Это особенно актуально для СПО, где срок обучения ограничен, а работодатель ожидает получить выпускника, способного приступить к работе с минимальным периодом адаптации. В этом отношении интерактивные методы выступают инструментом «симуляции» реального производственного

процесса – студент учится не «про станок», а работая с моделью станка или непосредственно на оборудовании.

В-третьих, компетентностная парадигма, заложенная в современных образовательных стандартах, требует формирования у студента способности действовать в нестандартных ситуациях, принимать решения в условиях ограниченной информации и нести ответственность за результат. Классические лекции и лабораторные работы по жесткому алгоритму этого не обеспечивают – здесь необходим формат кейса, игры или проекта, где студент сталкивается с многовариантностью решений и необходимостью самостоятельного выбора.

Особенности применения интерактивных методов в машиностроительных дисциплинах СПО

Дисциплины по специальности «Технология машиностроения» отличаются высокой степенью технической сложности содержания и тесной связью теоретического материала с практическими навыками работы на производственном оборудовании. Это создает специфические условия для внедрения интерактивных форм обучения, которые не всегда учитываются в универсальных педагогических рекомендациях.

Проектный метод в преподавании таких дисциплин, как «Технологические процессы изготовления деталей машин», «Технологическая оснастка» и «Программирование для автоматизированного оборудования», показал высокую эффективность при соблюдении ряда условий. Студентам предлагается разработать технологический процесс изготовления реальной детали, используемой на предприятии-партнере колледжа – с выбором заготовки, проектированием маршрута обработки, расчетом режимов резания, подбором оснастки и инструмента. Такой подход обеспечивает интеграцию знаний из нескольких дисциплин, формирует навыки работы с нормативно-технической документацией и развивает способность к самостоятельному принятию технологических решений [4].

Кейс-технологии особенно актуальны для дисциплин, связанных с организацией производства и управлением качеством. Студентам предлагается кейс, основанный на реальной производственной ситуации: например, задача снижения процента брака при механической обработке партии деталей или оптимизация загрузки станочного парка в условиях изменения производственной программы. Анализ такого кейса требует не только технических знаний, но и умения работать с экономическими показателями, учитывать человеческий фактор, оценивать риски. Опыт применения кейс-метода в Миасском машиностроительном колледже показал рост вовлеченности студентов и улучшение результатов на производственной практике [1].

Деловые игры в техническом образовании СПО часто строятся по модели «участок механического цеха». Студенты распределяют роли: мастер участка, технолог, наладчик станков с ЧПУ, контролер ОТК, снабженец. Каждому выдается комплект документации и перечень задач. В процессе игры моделируются типичные производственные ситуации – поломка оборудования, срочный заказ, необходимость замены инструмента, несоответствие партии заготовок техническим требованиям. Такая форма работы формирует не только профессиональные навыки, но и умение работать в команде, распределять ответственность, вести переговоры и принимать решения в условиях ограниченного времени.

Особое место в современном техническом образовании занимают виртуальные тренажеры и симуляторы. Для специальности «Технология машиностроения» разработаны программные продукты, имитирующие работу токарных и фрезерных станков с ЧПУ, процессы сварки, работу измерительного инструмента [5]. Использование таких тренажеров позволяет студентам отрабатывать навыки программирования и управления оборудованием до выхода на реальные станки, что снижает риск аварий и брака, а также экономит дорогостоящее машинное время. В 2024 г. в МИФИ созданы виртуальные двойники промышленного оборудования, которые используются для обучения студентов устройству и принципам работы станков в масштабе 1:1 с применением шлемов виртуальной реальности [6].

Групповая дискуссия как форма интерактивного обучения применяется при изучении таких дисциплин, как «Метрология, стандартизация и сертификация» или «Системы автоматизированного проектирования». Преподаватель формулирует проблемный вопрос (например: «Какие критерии следует учитывать при выборе системы координат детали для программирования обработки на станке с ЧПУ?») и организует обсуждение, в ходе которого студенты предлагают варианты, аргументируют их, критикуют позиции других групп. Такая форма работы развивает критическое мышление и учит обосновывать технические решения. Она эффективна, когда задача не имеет однозначного решения и требует учета множества факторов.

Интеграция интерактивных методов в дуальную модель обучения, активно внедряемую в регионах с развитым машиностроительным комплексом, усиливает их эффект. Студенты Свердловской области, обучающиеся по практико-ориентированной (дуальной) программе, значительную часть времени проводят на производстве, где под руководством наставника от предприятия решают реальные технологические задачи [7]. Это формирует устойчивую мотивацию к профессии и обеспечивает высокий уровень трудоустройства выпускников.

Результаты внедрения интерактивных методов обучения: эффекты и ограничения

Анализ практики российских колледжей, реализующих программы подготовки по специальности «Технология машиностроения», показывает неоднородную картину внедрения интерактивных методов. В одних учебных заведениях эти технологии используются системно, в других – эпизодически, в рамках отдельных дисциплин или как элемент открытых занятий. Оценка эффективности таких методов требует учета как количественных показателей (успеваемость, результаты демонстрационного экзамена, трудоустройство), так и качественных характеристик (мотивация, самостоятельность, готовность к профессиональной деятельности).

Исследование, проведенное в 2023 г. на базе нескольких технических колледжей Поволжья, зафиксировало рост академических результатов студентов экспериментальной группы, обучавшихся с применением активных методов (проектное обучение, кейс-задания, виртуальные тренажеры), по сравнению с контрольной группой, где преобладал традиционный формат занятий [8]. Средний балл по профессиональным модулям в экспериментальной группе оказался на 12% выше, а доля студентов, досрочно завершивших курсовое проектирование, возросла почти вдвое. Более того, студенты, прошедшие обучение в интерактивном формате, демонстрировали значительно более высокий уровень внутренней учебной мотивации и вовлеченности в профессиональную деятельность.

Работодатели машиностроительных предприятий, участвующие в программах дуального обучения, отмечают, что выпускники, прошедшие подготовку с использованием интерактивных технологий, быстрее адаптируются к условиям производства, проявляют большую инициативность и способность работать в команде. В частности, на АО «Миасский машиностроительный завод» зафиксирован рост доли выпускников, успешно прошедших испытательный срок, с 58% до 81% после перехода колледжа-партнера на практико-ориентированную модель обучения с элементами проектной работы и решения производственных кейсов [1].

Применение виртуальных тренажеров, по данным Политехнического университета, позволяет сократить количество ошибок при первичном выходе студента на реальное оборудование на 35-40% [9]. Студенты, предварительно отработавшие навыки программирования станка с ЧПУ на симуляторе, демонстрируют значительно более уверенное поведение при работе с производственным оборудованием, реже допускают аварийные ситуации и быстрее осваивают технологические операции. Экономический эффект от использования таких тренажеров связан не только со снижением брака и простоев оборудования, но и с возможностью организовать дистанционное обучение, особенно актуальное в период пандемии и в условиях территориальной удаленности студентов от учебных мастерских.

Впрочем, практика выявляет и ряд ограничений. Внедрение интерактивных методов требует значительных временных затрат со стороны преподавателя на подготовку учебных

материалов – разработку кейсов, проектирование игровых сценариев, настройку виртуальных тренажеров, согласование тематики проектов с предприятиями-партнерами. Не все педагоги СПО обладают достаточной квалификацией для работы в таком формате; большинство из них получали педагогическое образование в условиях традиционной модели и нуждаются в систематическом повышении квалификации по вопросам применения активных методов обучения.

Материально-техническая база многих колледжей, особенно в малых городах и отдаленных регионах, остается недостаточной для полноценного внедрения интерактивных технологий. Виртуальные симуляторы требуют современного компьютерного оборудования и лицензионного программного обеспечения, стоимость которого может достигать сотен тысяч рублей. Организация деловых игр с элементами производственного моделирования предполагает наличие учебно-производственных участков, оснащенных реальным или действующим тренажерным оборудованием. Кейс-технологии требуют налаженного партнерства с предприятиями, готовыми предоставлять реальные производственные данные и участвовать в экспертизе студенческих решений, а такое сотрудничество складывается далеко не везде.

Еще одна проблема – оценка результатов обучения. Традиционная пятибалльная система недостаточна для оценки компетенций, сформированных в процессе проектной или игровой деятельности. Здесь требуется разработка комплексных критериев, учитывающих не только правильность технического решения, но и качество командной работы, способность к рефлексии, готовность нести ответственность за результат. Демонстрационный экзамен, внедренный в систему СПО в последние годы, частично решает эту задачу, но его формат пока слабо интегрирован с проектными и кейсовыми методами, преобладающими в учебном процессе.

Заключение

Применение интерактивных методов обучения в преподавании технических дисциплин по специальности «Технология машиностроения» в системе СПО является не данью педагогической моде, а объективным требованием времени, продиктованным запросами современного высокотехнологичного производства и логикой развития образовательных стандартов. Переход от репродуктивной модели «преподаватель транслирует – студент усваивает» к деятельностной модели «студент проектирует, решает, рефлексирует» обеспечивает формирование тех профессиональных и общих компетенций, которые необходимы выпускнику для успешной адаптации на производстве.

Проектный метод, кейс-технологии, деловые игры, дискуссии и виртуальные тренажеры – каждый из этих инструментов имеет свою зону эффективности и свои ограничения. Проектное обучение развивает системное мышление и способность интегрировать знания из разных дисциплин; кейс-метод учит принимать решения в условиях неполной информации; деловая игра формирует навыки командной работы и распределения ответственности; виртуальные симуляторы обеспечивают безопасную отработку сложных технологических операций. Оптимальный результат достигается при их комплексном использовании, встроенном в логику освоения профессиональных модулей.

Результаты внедрения интерактивных методов, зафиксированные в практике российских колледжей за 2023-2024 гг., свидетельствуют о росте академических показателей, повышении мотивации студентов и улучшении их адаптации на производственной практике. Работодатели отмечают качественные изменения в подготовке выпускников – способность к самостоятельному решению задач, готовность к работе в команде, ответственность за результат.

Вместе с тем система СПО сталкивается с серьезными барьерами на пути масштабного внедрения интерактивных технологий. Недостаточная материально-техническая база, дефицит квалифицированных педагогических кадров, слабая интеграция с производственными предприятиями, отсутствие методических разработок, адаптированных к специфике машиностроительных дисциплин, – все эти факторы замедляют процесс трансформации образо-

вательной практики. Решение этих проблем требует системных мер на уровне региональной и федеральной образовательной политики, включая целевое финансирование обновления учебной базы, программы повышения квалификации преподавателей, стимулирование партнерства колледжей и предприятий.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой методических рекомендаций по интеграции интерактивных методов в структуру профессиональных модулей, созданием банка производственных кейсов и проектных заданий для специальности «Технология машиностроения», адаптацией зарубежного опыта применения VR-технологий в инженерном образовании к условиям российского СПО. Особое внимание следует уделить оценке долгосрочных эффектов интерактивного обучения – профессиональной траектории выпускников, их карьерного роста, готовности к непрерывному образованию и адаптации к изменениям технологического уклада.

Список литературы

1. Верхотурова, Г. В. О реализации проекта «Формирование профессиональных компетенций студентов на основе практико-ориентированного (дуального) обучения по специальности 15.02.08 «Технология машиностроения» в условиях кластерного взаимодействия» / Г. В. Верхотурова // Инновационное развитие профессионального образования. – 2018. – № 2 (18). – С. 84-89.

2. Воробьева, Н. А. Интерактивные методы обучения в практике среднего профессионального образования / Н. А. Воробьева // Проблемы современного педагогического образования. – 2019. – № 63-2. – С. 45-48.

3. Гончарова, Е. В. О практико-ориентированном обучении в среднем профессиональном образовании / Е. В. Гончарова // Инновационное развитие профессионального образования. – 2019. – № 2 (22). – С. 15-21.

4. Демидова, Н. И. Кейс-технология как эффективный метод формирования профессиональных компетенций специалистов среднего звена / Н. И. Демидова // Проблемы современной науки и образования. – 2020. – № 4 (149). – С. 72-75.

5. Зайцев, А. П. Виртуальный учебный тренажер «Симулятор токарного станка с ЧПУ» / А. П. Зайцев // Каталог учебного оборудования ПО «Зарница». – 2024.

6. Иванов, С. Н. В МИФИ созданы виртуальные двойники промышленного оборудования / С. Н. Иванов // Атомная энергия 2.0. 16.09.2024.

7. Корчагин, Е. А. Об особенностях подготовки квалифицированных кадров в Свердловской области на основе практико-ориентированного (дуального) обучения / Е. А. Корчагин // Инновационное развитие профессионального образования. – 2016. – № 2 (10). – С. 68-73.

8. Логинова, Т. В. Активные методы обучения в подготовке инженеров: экспериментальное исследование мотивации и академических результатов / Т. В. Логинова // Перспективы науки и образования. – 2024. – № 3 (69). – С. 112-128.

9. Михайлов, П. С. VR-лаборатория для моделирования работы портального крана / П. С. Михайлов // Лаборатория ПСПОД СПбПУ. 2023.

10. Сергеева, М. А. Практика применения интерактивных технологий и проблемного обучения в процессе преподавания технических дисциплин для студентов СПО / М. А. Сергеева // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 6. – С. 201-205.

11. Федорова, М. А. Кейс-технологии в процессе профессионального становления студентов / М. А. Федорова // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 2. – С. 34-39.

12. Черкасова, Н. В. Компетентностный подход – инновационная концепция построения программ профессиональной подготовки специалистов / Н. В. Черкасова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2024. – Т. 20. № 1. – С. 88-95.

УДК 378.016:811.111

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА КАК ИНОСТРАННОГО ДЛЯ СТУДЕНТОВ-БИЛИНГВОВ И МУЛЬТИКУЛЬТУРНЫХ ГРУПП В РОССИЙСКОМ ВУЗЕ

Ярхамова А.А., к.пед.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-7743-9551;
E-mail: alfiashamsieva@mail.ru;
Исламова Л.Р., старший преподаватель кафедры иностранных языков ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: liliyarustamovna@mail.ru

FEATURES OF TEACHING ENGLISH AS A FOREIGN LANGUAGE TO BILINGUAL STUDENTS AND MULTICULTURAL GROUPS AT A RUSSIAN UNIVERSITY

Iarkhamova A.A., PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-7743-9551;
E-mail: alfiashamsieva@mail.ru;
Islamova L.R., Senior Lecturer of the Department of Foreign Languages, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-5981-9518

Аннотация

Статья исследует специфику преподавания английского языка как иностранного (EFL) студентам-билингвам и мультикультурным группам в российском вузе. Анализируются методические и психолого-педагогические особенности обучения, обусловленные языковым опытом билингвов и культурным разнообразием. Выявляются вызовы для преподавателей и предлагаются эффективные стратегии.

Ключевые слова: студенты-билингвы, мультикультурные группы, Российский вуз интерактивные, методы обучения, коммуникативный подход.

Abstract

This article investigates the specifics of teaching English as a foreign language (EFL) to bilingual students and multicultural groups at a Russian university. Methodological and psychological-pedagogical features of teaching, conditioned by the language experience of bilinguals and cultural diversity, are analyzed. Challenges for teachers are identified, and effective strategies are proposed.

Keywords: Bilingual students, multicultural groups, Russian University, interactive teaching methods, communicative approach

В эпоху активной глобализации и интернационализации, высшее образование претерпевает значительные изменения, выражающиеся в увеличении числа иностранных студентов и билингвов в учебных заведениях. Английский язык, в свою очередь, закрепил за собой роль глобального средства общения, необходимого для научной деятельности, международного обмена и успешной карьеры. В российских вузах преподавание английского языка как иностранного влечет за собой новые трудности, связанные с формированием многонациональных и разнородных студенческих групп, обладающих разным лингвистическим и культурным багажом.

Статья посвящена разработке и систематизации научно подкрепленных методических и психолого-педагогических стратегий, направленных на эффективное обучение английскому языку билингвальных студентов и мультикультурных групп в российских вузах. Это становится особенно важным в контексте интеграции России в мировое образовательное пространство и стремления к подготовке конкурентоспособных специалистов, владеющих навыками межкультурной коммуникации.

Основная задача данной работы – изучение особенностей обучения английскому языку билингвальных и мультикультурных студенческих коллективов в российских вузах. В статье будут рассмотрены основные проблемы, стоящие перед преподавателями, и предложены действенные методы повышения эффективности учебного процесса.

Объектом исследования является процесс преподавания английского языка как иностранного в системе высшего образования России.

Предметом исследования выступают особенности методик и дидактических подходов к обучению английскому языку студентов-билингвов и представителей разных культур в российских университетах.

Слово «билингвизм» происходит от двух латинских: bi – «двойной», «двоякий» и слова lingua – «язык». Таким образом, билингвизм – это способность владения двумя языками. Отсюда, билингв – человек, который может разговаривать на двух языках [1].

Двуязычие, по мнению ученых, представляет собой владение двумя языками, их знание и регулярное применение в зависимости от контекста коммуникации. Билингвизм во всех случаях рассматривается как комплексная, взаимосвязанная и индивидуальная структура, включающая в себя новую лингвистическую систему и способность к ее интеграции в ситуации общения. Эта система содержит не только ситуативные значения, но и широкие социокультурные концепции и мировоззрения.

Билингвизм может наблюдаться в межнациональных группах, изучающих английский как иностранный (EFL). Это явление возникает в результате взаимодействия языков, социально-экономического и культурного обмена, а также длительного сосуществования народов, говорящих на разных языках.

Двуязычие проявляется в разнообразных формах, и его исследование имеет ключевое значение для методологии обучения иностранным языкам, особенно в контексте EFL [2].

Примеры типов билингвизма, которые могут наблюдаться в межкультурных группах EFL:

Спонтанный (контекстуальный) билингвизм – формируется в раннем возрасте в результате постоянного нахождения в среде, где говорят на нескольких языках, и регулярного общения с теми, для кого эти языки родные.

Преднамеренный (образовательный) билингвизм – язык приобретается сознательно в рамках учебного процесса (например, на занятиях), что требует активного обучения и использования специализированных педагогических стратегий.

Промежуточный (учебно-коммуникативный) билингвизм – характерен для студентов, чье знание английского языка находится на стадии активного развития, а обучение происходит преимущественно в условиях родного языка. Типичные признаки: явление «переключения кодов» (code-switching) на занятиях и процессы межъязыкового взаимодействия (interlanguage) [3].

Билингвизм может положительно влиять на процесс усвоения второго языка, так как постоянное переключение между двумя языками и связанные с этим умственные усилия улучшают когнитивную деятельность.

Некоторые преимущества билингвизма:

1. Развитие исполнительных функций мозга. Необходимость постоянного переключения между языковыми системами тренирует когнитивный контроль, улучшая способность концентрироваться, игнорировать неи эффективнее решать мультизадачные проблемы.

2. Повышенная способность к изучению языков. Наличие двух языковых систем развивает металингвистическую осведомлённость – понимание структуры языка как такового. Это позволяет быстрее распознавать паттерны, запоминать лексику и усваивать грамматические правила новых языков.

3. Расширение социальных и коммуникативных возможностей. Доступ к различным культурным кодам и сообществам естественным образом расширяет круг общения и повышает качество социальных связей. Билингвы часто обладают более развитыми навыками эмпатии, адаптации и невербальной коммуникации.

4. Нейропластичность и отсрочка возрастных изменений. Регулярная «гимнастика для мозга», связанная с управлением двумя языками, способствует формированию когнитивного резерва. Исследования указывают на то, что это может замедлять снижение когнитивных функций и отсрочивать проявление симптомов нейродегенеративных заболеваний [4].

Усвоение второго языка рассматривается в лингвистике и педагогике как сложный многомерный процесс, который невозможно объяснить одной-единственной теорией. Современное понимание SLA (Second Language Acquisition) сформировалось на основе нескольких подходов, каждый из которых акцентирует внимание на разных механизмах языкового развития. Существует несколько теорий усвоения второго языка**.** Некоторые из них: теория Стивена Крашена, теория универсальной грамматики, интерактивная теория и теория коннекционизма [5].

Основная цель теорий – пролить свет на то, как люди, уже знающие один язык, осваивают второй язык.

Представленная Стивеном Крашеном в 1970-80-х гг. теория Крашена, разработанная американским психолингвистом, включает ряд ключевых гипотез.

Гипотеза ввода утверждает, что прогресс достигается при понимании материала на уровне, лишь незначительно превышающем текущий (“i+1”, где “i” – текущий уровень, “+1” – новый).

Гипотеза разграничения усвоения и обучения предполагает четкое разделение между бессознательным «усвоением» и сознательным «изучением».

Гипотеза естественного порядка утверждает, что усвоение языка происходит в предопределенной последовательности, независящей от индивидуальных особенностей и формального обучения.

Гипотеза аффективного фильтра предполагает, что негативные эмоции, такие как страх, препятствуют успешному усвоению [6].

Теории Крашена, оказавшие значительное влияние на преподавание языков, также подвергались критике со стороны исследователей.

Теория универсальной грамматики, предложенная Ноамом Хомским, предполагает, что при изучении языка люди используют врожденные грамматические знания. Критики утверждают, что подход Хомского представляет обучаемого как своего рода компьютер, запрограммированный на язык, упуская из виду социальный аспект [7].

Интерактивный подход рассматривает усвоение языка как результат взаимодействия с социальным окружением. Теория Майкла Лонга, например, подчеркивает важность взаимодействия, которое дает возможность получать обратную связь, обсуждать значение и корректировать высказывания, способствуя развитию языковых навыков.

Коннекционизм объясняет изучение языка с точки зрения когнитивных процессов и обработки информации. Эта теория предполагает, что обучение – это обработка и повторение опыта, укрепляющее связи. В отличие от бихевиоризма, коннекционизм допускает параллельную обработку информации и распределение знаний по различным каналам.

Важно помнить, что процесс изучения языка сложен и не существует единого универсального метода [8].

Интеграция родного языка в изучение иностранного необходима для эффективного усвоения материала. Она позволяет использовать сходства между языками для позитивного переноса знаний и минимизировать интерференцию (отрицательное влияние родного языка).

Поскольку иностранный язык осваивается на базе родного, преподавание должно учитывать их взаимодействие. В Татарстане, в условиях трёхъязычия (родной, русский, иностранный), учителя при обучении иностранному языку:

1. Закрепляют корректные соответствия между единицами родного и иностранного языков.

2. Предотвращают формирование ложных языковых ассоциаций.

3. Формируют навык переключения между языковыми системами.

На начальных этапах преобладает интерференция родного языка. По мере полноценного усвоения иностранной системы интерференция ослабевает, приближаясь к состоянию «чистого» двуязычия. При этом некорректная методика сопоставления языков может, наоборот, усиливать интерференцию [9].

Сопоставительный анализ трёх языков (родного, русского и иностранного) на уроках позволяет прогнозировать трудности, понимать природу ошибок и выстраивать эффективную последовательность обучения. Особенно важна опора на родной язык в сельских школах Татарстана, где он несёт основную социальную нагрузку.

Не вызывает сомнений, что в многонациональной среде изучение сразу двух или даже трех языков (родного, русского и английского) представляет собой значительные вызовы. В связи с этим, методология обучения должна быть тщательно разработана с целью облегчения преодоления специфических препятствий, возникающих из-за различий между родным языком учащихся и изучаемым.

Однако недооценивать важность сравнительного анализа языков также нельзя. Как отмечал академик Щерба, родной язык воспринимается как нечто простое и само собой разумеющееся, не вызывающее вопросов. Изучение второго языка в сопоставлении с родным открывает новые способы выражения мыслей и помогает осознать разнообразие средств выражения в родном языке, позволяя замечать нюансы, которые ранее оставались незамеченными.

Эффективным подходом для преподавателей английского языка в подобных обстоятельствах является внедрение интерактивных методов обучения. Важным компонентом становится организация работы в парах и группах, где объединяются носители русского и иностранные студенты. Такая языковая среда, исключающая использование родного языка, способствует исключительно англоязычному общению. В этих условиях студенты активно используют все средства – невербальную коммуникацию, перефразирование, основную лексику и элементарные грамматические структуры – для достижения понимания и выполнения поставленных задач.

В педагогический арсенал входят такие интерактивные форматы, как:

– ролевые игры и ситуативные диалоги, моделирующие реальное общение;

– совместные проекты (например, заполнение кроссвордов на изучаемую лексику);

– дискуссии и тематические беседы, направленные на коллективный результат;

– коммуникативные игры («Кто я?», «Taboo»), способствующие отработке вопросов и описаний.

Данный подход не просто улучшает умение выражать мысли и обогащает лексикон, но и результативно снимает психологическое напряжение. Студенты, ощущая равенство, обретают больше уверенности, что облегчает их адаптацию к языковой среде.

Главная роль в этом механизме принадлежит учителю, который координирует, поддерживает и консультирует. Он формирует группы, отбирает контент, участвует в процессе, оперативно исправляя произношение, грамматические ошибки и помогая с выбором подходящих фраз.

Особое значение придается использованию оригинальных аудио- и видеозаписей (небольшие фильмы, новостные сюжеты, интервью). Преподаватель тщательно выбирает материалы, соответствующие темам и уровню учеников, и разрабатывает доступные задания, избегая излишней сложности. Важно учитывать социокультурные особенности представляемых материалов.

Сейчас, когда цифровые технологии активно внедряются в образование, полезно использовать онлайн-сервисы (например, «Английский Пациент»), электронные тесты и тщательно подобранные интернет-источники. Это позволяет сделать более эффективной работу в классе и самостоятельные занятия студентов [10].

В заключение хочется добавить, что преподавание английского языка для студентов-билингвов и межкультурных групп в российских вузах является сложной и многогранной задачей для преподавателей. Стоит учитывать культурное разнообразие и языковые контексты. Преподавателям необходимо адаптировать методы обучения, используя разнообразные подходы и стратегии, которые вызывают активное участие и интерес к изучению у студентов. Важно создавать особую среду, где каждый ученик будет чувствовать себя комфортно и уверенно. Таким образом, эффективное современное преподавание английского языка с использованием последних технологий в условиях культурного разнообразия и многоязычия открывает новые горизонты для студентов, способствуя их личностному и профессиональному росту.

Список литературы

1. Мкртычева, Н. С. Билингвизм как тенденция развития современного общества / Н. С. Мкртычева, Е. А. Мильцева. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 15 (149). – С. 712-714. – URL: https://moluch.ru/archive/149/42226.

2. Панченко, В. А. Принципы изучения второго иностранного языка. – Санкт-Петербург – Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2019. – С. 226-229.

3. Андреева, С. В. Билингвизм и его аспекты / С. В. Андреева // Учёные записки ЗабГУ. Серия: Филология, история, востоковедение. – 2016. – №3 [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bilingvizm-i-ego-aspekty

4. Новикова, В. С. Теория мотивации Дёрнеи в области освоения второго языка / В. С. Новикова // Молодой учёный. – 2023. – №34 (481). – С. 158–160.

5. Болина, М. В. Проблема интерференции при изучении второго иностранного языка / М. В. Болина. – Челябинск: Челябинский государственный институт культуры, 2020. – С. 140-147.

6. Каримова, Г. А. Некоторые случаи интерференции при изучении второго иностранного языка / Г. А. Каримова. – Уфа: государственное автономное учреждение дополнительного профессионального образования Институт развития образования Республики Башкортостан, 2020. – С. 192-195.

7. Махмудова, С. М. Инклюзивное образование в условиях цифровизации учебной деятельности / С. М. Махмудова, И. В. Зенкевич // Язык и текст. – 2020. Том 7. № 4. – С. 92-98. DOI:10.17759/langt.2020070407

8. Пахомова, Д. А. Особенности изучения второго иностранного языка в неязыковом вузе / Д. А. Пахомова, А. А. Колобкова // OpenScience. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 85-89.

9. Горбунова, Ю. А. Цифровизация высшего образования: позиция технореализма / Ю. А. Горбунова // Образовательные ресурсы и технологии. – 2020. – № 4 (33). – С. 99-107.

10. Ермекбаева, Г. Г. Языковая среда как психологический фактор обучения неродному языку / Г. Г. Ермекбаева // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 3. – С. 143-147.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ И МЕДИЦИНЕ

УДК 616.329-073.916:004.896

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЦИНТИГРАФИИ ПИЩЕВОДА: ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

Баширов Р.А., ассистент кафедры радиологии, радиотерапии, радиационной гигиены и радиационной безопасности им. академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ассистент кафедры онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, врач-радиолог радиологического отделения ГАУЗ «Республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан»;
ORCID: 0000-0003-4793-8197;
Рыжкин С.А., д. м. н., доцент, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, заведующий кафедрой радиологии, радиотерапии радиационной гигиены и радиационной безопасности им. академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, профессор кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, профессор кафедры медицинской физики Института физики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0000-0003-2595-353X;
Бурков В.О., ординатор кафедры радиологии, радиотерапии, радиационной гигиены и радиационной безопасности имени академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России;
ORCID: 0009-0001-7917-2205

ALGORITHMIZATION AND AUTOMATION OF PROCESSING RESULTS OF DYNAMIC ESOPHAGEAL SCINTIGRAPHY: EXPERIENCE OF DEVELOPING A SOFTWARE MODULE

Bashirov R.A., Assistant at the Department of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety named after Academicians A.S. Pavlov and F.G. Krotkov, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation; Assistant at the Department of Oncology, Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Kazan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; Radiologist at the Radiology Department, Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0003-4793-8197;
Ryzhkin S.A., Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Head of the Department of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety named after Academicians A.S. Pavlov and F.G. Krotkov, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation; Professor at the Department of General Hygiene, Kazan State Medical University, Ministry of Health of the Russian

Federation; Professor at the Department of Medical Physics, Institute of Physics, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID: 0000-0003-2595-353X;
Burkov V.O., Resident at the Department of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety named after Academicians A.S. Pavlov and F.G. Krotkov, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation;
ORCID: 0009-0001-7917-2205

Аннотация

Динамическая сцинтиграфия пищевода служит количественным методом оценки транспортной функции при дисфагии, ахалазии, пострадиационных стенозах и после хирургических вмешательств. Метод обладает высокой воспроизводимостью, однако его ручная обработка остаётся трудоёмкой и сопряжена с субъективными погрешностями. Мы разработали алгоритм и программный модуль для автоматизированной оценки результатов исследования по трёхэтапной балльной системе (горизонтальное, вертикальное положение и статическая съёмка). На основе формализованной логики переходов между этапами создана программа на Python с графическим интерфейсом (pydicom, numpy, matplotlib, tkinter). После ручного выделения области интереса (ROI) модуль автоматически строит кривую «активность–время», вычисляет время полного транзита (снижение активности >90%) либо процент остаточной активности через 1 минуту, сопоставляет результат с балльной шкалой и указывает необходимость перехода к следующему этапу. Апробация проведена на 30 исследованиях, выполненных в 2025 году в Республиканской клинической больнице Минздрава РТ. Время обработки сократилось с 8,2±1,6 до 1,6±0,3 минуты (в 5,1 раза, p<0,001); этап вычислений после выделения ROI уменьшился со 122,8 до 13,3 секунды. Совпадение итогового балла с ручным анализом при корректной постановке ROI достигло 100%. Коэффициент корреляции с эталонным ПО составил 0,98 для времени транзита и 0,97 для остаточной активности. Разработанное решение стандартизирует интерпретацию, минимизирует вариабельность между операторами и может быть рекомендовано для клинической практики как вспомогательный инструмент. В перспективе требуется валидация на расширенной выборке и интеграция с автоматической сегментацией.

Ключевые слова: динамическая сцинтиграфия пищевода, транспортная функция, алгоритмизация, автоматизация, программирование на Python, медицинская визуализация, балльная оценка, область интереса, время транзита, остаточная активность

Abstract

Dynamic esophageal scintigraphy is a quantitative method for assessing transport function, widely used in dysphagia, achalasia, post-radiation strictures, and after surgical interventions. Although the method is reproducible, manual processing remains time-consuming and prone to subjective errors. We developed an algorithm and a software module for automated stepwise evaluation of scintigraphic studies using a three-stage scoring system (horizontal, vertical, and static acquisitions). Based on a formalized transition logic between stages, we created a Python program with a graphical interface (libraries: pydicom, numpy, matplotlib, tkinter). After manual region-of-interest (ROI) placement by the operator, the module automatically generates a time-activity curve, calculates the complete transit time (activity drop >90%) or, if transit is incomplete, the residual activity percentage at 1 minute, assigns the corresponding score according to the scale, and indicates whether to proceed to the next stage. The module was tested on 30 studies performed in 2025 at the Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan (Kazan). Total processing time decreased from 8.2±1.6 to 1.6±0.3 minutes (5.1-fold reduction, p<0.001); the computational step after ROI placement dropped from 122,8 to 13.3 seconds. Final score agreement with manual analysis reached 100% when ROI placement was correct. Correlation coefficients with reference software were 0.98 for transit

time and 0.97 for residual activity. The proposed solution standardizes interpretation, minimizes inter-operator variability, and can be recommended for routine clinical practice as an auxiliary tool. Further validation on a larger cohort and integration with automatic segmentation are planned.

Keywords: dynamic esophageal scintigraphy, transport function, algorithmization, automation, Python programming, medical imaging, scoring system, region of interest, transit time, residual activity

Введение

Оценка транспортной (эвакуаторной) функции пищевода остаётся востребованной клинической задачей. Нарушения моторики проявляются дисфагией, некардиальной болью в груди, рецидивирующей аспирацией, кахексией и рефрактерным гастроэзофагеальным рефлюксом [1]. Эти симптомы сопровождают широкий спектр заболеваний. Среди них рак пищевода и кардии, пострадиационные стенозы, метастатическое поражение средостения, системная склеродермия, ахалазия кардии [2-4]. Нередко нарушения возникают после хирургических вмешательств – резекций, стентирования, паллиативных процедур, а также при структурных изменениях, таких как опухолевые стриктуры, грыжи пищеводного отверстия диафрагмы и дивертикулы [3, 5]. Сцинтиграфическая оценка моторики незаменима для динамического контроля терапии, объективной оценки эффективности лечения и своевременной коррекции тактики ведения пациента [1].

Среди инструментальных методов исследования функционального состояния пищевода особое место занимает динамическая сцинтиграфия. Метод даёт возможность количественно измерить скорость и полноту опорожнения пищевода после перорального введения радиофармацевтического препарата. В отличие от рентгеноконтрастных и манометрических подходов, сцинтиграфия обеспечивает высокую воспроизводимость результатов, сопровождается низкой лучевой нагрузкой и позволяет объективно рассчитывать временные и объёмные параметры транзита [1]. В российской и зарубежной клинической практике этот метод широко применяют, особенно при необходимости длительного наблюдения за пациентами.

Интерпретация сцинтиграфических данных до сих пор остаётся преимущественно рутинной и существенно зависит от квалификации врача. Выделение областей интереса (ROI), построение кривых «активность–время», определение времени транзита и процента задержки РФЛП занимают значительное время и сопряжены с субъективными погрешностями. Объём исследований растёт, а стандартизация заключений остаётся нерешённой проблемой. В этих условиях возникает объективная потребность в инструментах, которые позволяют алгоритмизировать и частично автоматизировать обработку данных, снизив вариабельность оценок и ускорив получение результата.

Цель настоящего исследования – разработка алгоритма и программного модуля для автоматизированной обработки результатов динамической сцинтиграфии пищевода, а также апробация данного подхода в условиях реального клинического исследования.

Материалы и методы исследования

Динамическую сцинтиграфию пищевода (ДСЦП) выполняли на двухдетекторной гамма-камере Philips «BrightView» с низкоэнергетическим коллиматором. Пациент располагался вертикально лицом к детектору и натощак проглатывал около 25 МБк ^{99m}Tc-технефита (ОАО «Диамед», Россия), растворённого в 15 мл воды. Запись изображений начинали одновременно с глотком и вели 60 секунд в режиме 2 кадра/с. Первичную обработку выполняли с помощью штатного ПО NM Esophagus (Philips, Нидерланды): вручную выделяли ROI верхней, средней, нижней третей пищевода и суммарной зоны, строили кривые «активность–время» и определяли время транзита болюса как интервал до снижения активности ≥95% от пиковой.

Разработанный трёхэтапный протокол включал горизонтальное положение, вертикальное положение и статическую съёмку. Общая активность РФП не превышала 25 МБк за приём, что сопоставимо со стандартной методикой. Оценка транзита в вертикальном поло-

жении позволяет дифференцировать функциональные и обструктивные нарушения: улучшение транзита при вертикализации указывает на гипотонический компонент, сохранение задержки – на анатомические или обструктивные изменения. Статический этап (после приёма 100–120 мл жидкости без РФП) оценивает стойкость задержки. Переход между этапами регламентирован критерием задержки >50% на предыдущем этапе. На каждом этапе балл присваивается по единой шкале с разными пороговыми значениями (таблица 1); итоговый балл определяется на завершающем этапе, суммирование не предусмотрено.

Таблица 1

Балльная оценка результатов динамической сцинтиграфии пищевода

Первый этап	Второй этап	Третий этап
1. Горизонтальное положение: - Время транзита болюса: • <15 сек → 0 баллов. • 15-25 сек → 1 балл. • 25-40 сек → 2 балла. • >40 сек → 3 балла. Оценка задержки РФЛП через 1 мин: - <5% → 3 балла. - 5-25% → 4 балла. - 25-50% → 5 баллов. - >50% → 6 баллов. Переход к вертикальному положению.	2. Вертикальное положение: - Время транзита болюса: • <15 сек → 6 баллов. • 15-25 сек → 7 баллов. • 25-40 сек → 8 баллов. • >40 сек → 9 баллов. Оценка задержки РФЛП через 1 мин: - <5% → 9 баллов. - 5-25% → 10 баллов. - 25-50% → 11 баллов. - >50% → 12 баллов. Переход к статическим изображениям.	3. Анализ остаточной активности по статическим изображений до и после приема жидкости: - Остаточная активность: • <5% → 12 баллов. • 5-20% → 13 баллов. • 20-35% → 14 баллов. • >35% → 15 баллов. Анализ остаточной активности по статическим изображений до и через 5 минут после приема жидкости: • <5% → 15 баллов. • 5-20% → 16 баллов. • 20-35% → 17 баллов. • >35% → 18 баллов.

Для формализации принятия решений разработан пошаговый алгоритм в виде конечного автомата с тремя состояниями. После выделения ROI оператором (вручную на суммарном изображении или отдельном кадре) программа автоматически строит кривую «активность–время», вычисляет время полного транзита (снижение >90% от пика) либо остаточную активность через 60 секунд, сопоставляет результат с балльной шкалой и определяет необходимость перехода к следующему этапу. Вычисления основаны на интегрировании по пикселям и сглаживании временного ряда. Примеры этапов работы интерфейса приведены на рисунках 1 (выделение ROI) и 2 (кривая активности). Модуль написан на Python с использованием библиотек pydicom, numpy, cv2, matplotlib и tkinter. Интерфейс содержит поле для отображения изображений с инструментами рисования ROI, график динамики активности и панель управления с кнопками загрузки, расчёта и перехода к следующему этапу. Все расчёты выполняются в реальном времени, позволяя оператору корректировать ROI без повторной загрузки данных.

Результаты

Апробация разработанного программного модуля проведена на ретроспективной выборке из 30 исследований динамической сцинтиграфии пищевода. Все пациенты проходили обследование в 2025 году по направлению врачей-гастроэнтерологов или ревматологов Республиканской клинической больницы Министерства здравоохранения Республики Татарстан. Причины обращения варьировали: подозрение на ахалазию кардии, пострадиационные изменения, системная склеродермия, дисфагия неясного генеза, а также контроль после хи-

ургических вмешательств. Для каждого пациента имелись полные DICOM-серии всех трёх этапов. Обработку выполняли два независимых врача-специалиста, имеющих стаж работы в ядерной медицине не менее 5 лет. Первый использовал ручной метод в штатном программном обеспечении (стандартный рабочий процесс), второй – разработанный программный модуль с автоматизированной оценкой. Сравнивали временные затраты на анализ одного исследования (включая выделение ROI, построение кривых, расчёт времени транзита и остаточной активности, определение итогового балла) и согласованность конечных результатов.

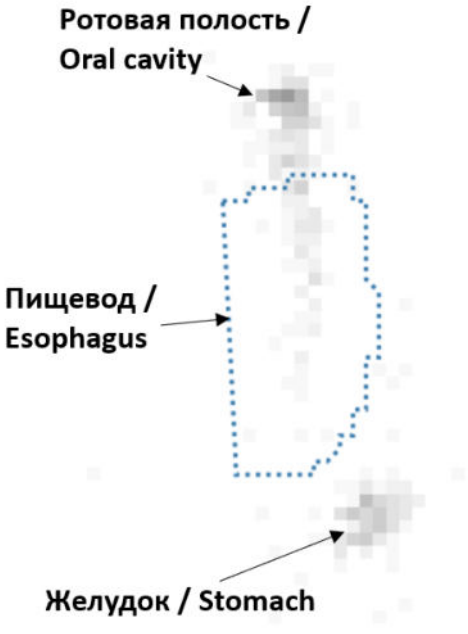


Рис. 1. Пример выбора области интереса (ROI) на суммарном изображении динамической сцинтиграфии пищевода

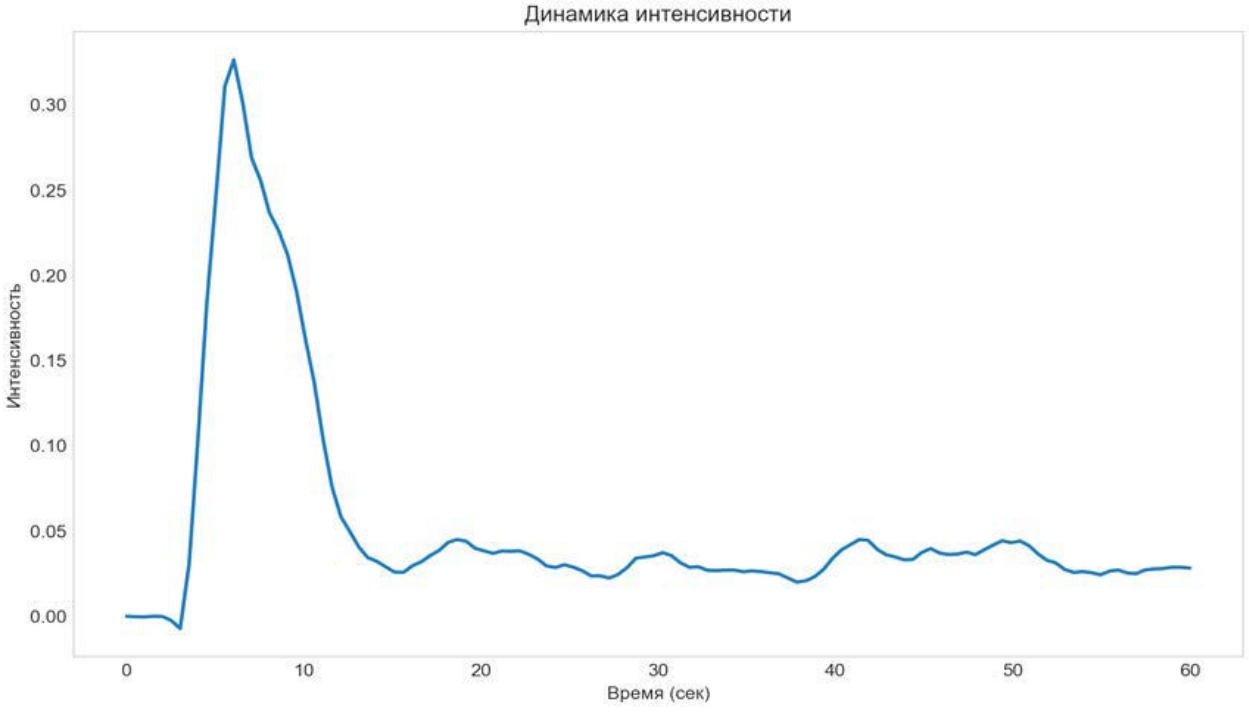


Рис. 2. Пример кривой «активность – время» для выделенной ROI. По оси абсцисс – время (с), по оси ординат – интенсивность излучения (условные единицы)

При ручной обработке среднее время, затрачиваемое на полный анализ одного исследования, составило 8,2 ± 1,6 минуты. Основная доля этого времени приходилась на ручное построение кривых «активность–время», определение момента 90%-го опорожнения и последующее сопоставление полученных значений с балльной таблицей. При использовании программного модуля полный цикл обработки сократился до 1,6 ± 0,3 минуты. Если рассматривать отдельно этап вычислений после выделения ROI, то ручной подсчёт занимал в среднем 122,8 секунды, тогда как автоматизированный расчёт выполнялся за 13,3 секунды. Таким образом, общее время обработки уменьшилось в 5,1 раза (критерий Уилкоксона, $p < 0,001$). Экономия достигалась за счёт автоматического расчёта всех параметров сразу после выделения ROI, мгновенного отображения балла и чёткого указания необходимости перехода к следующему этапу. Оператору не требовалось самостоятельно сверять значения с табличными интервалами или запоминать логику переходов – программа визуально подсвечивала соответствующую строку в шкале и выдавала рекомендацию.

По итоговому баллу, определённому автоматизированным способом, получено полное совпадение с результатами ручного анализа во всех 30 случаях (100%). Ни один из пациентов не был ошибочно переведён на следующий этап или, напротив, преждевременно остановлен. При этом в процессе работы мы зафиксировали три эпизода, когда программа выдавала результат, отличающийся от ручной оценки, однако после проверки выяснилось, что причина кроется в некорректной постановке ROI оператором: в одном случае область интереса захватывала часть желудка, что приводило к завышению времени транзита, в другом – выраженный фоновый шум интерпретировался программой как остаточная активность, тогда как врач визуально исключал этот шум, в третьем – артефакт движения пациента вызвал смещение ROI между кадрами, что автоматика не компенсировала. Во всех трёх ситуациях после коррекции ROI программа выдала результат, идентичный ручному. Следовательно, при корректной постановке ROI модуль обеспечивает 100% воспроизводимость расчётов и полностью исключает вариабельность, связанную с человеческим фактором на этапе интерпретации кривых и балльной оценки.

Клинический пример демонстрирует работу модуля у пациента с ахалазией кардии. На рисунке 3 представлены сцинтиграфические изображения, полученные на первом (A1) и втором (A2) этапах исследования. На первом этапе (горизонтальное положение) полный транзит болюса за 60 секунд не наступил; остаточная активность составила 58,5%. Поскольку этот показатель превысил порог >50%, программа автоматически инициировала переход ко второму этапу, не присваивая баллов на горизонтальной позиции. При вертикальной пробе было зафиксировано значительное улучшение, полный транзит произошел на 12 секунде (<15 секунд), и исследование завершилось с итоговым баллом 6. На каждом шаге программа отображала числовые параметры, балл и конкретную рекомендацию; третий этап не активировался. Врач при ручной обработке аналогичного случая тратил дополнительное время на проверку каждого промежуточного результата относительно критериев перехода.

Модуль успешно обработал все 30 DICOM-серий без сбоев и ошибок выполнения. Проверка корректности вычислений проводилась путём сравнения с эталонными значениями, полученными с помощью сертифицированного программного обеспечения для сцинтиграфических исследований. Коэффициент корреляции Пирсона для времени транзита составил $r = 0,98$, для процента остаточной активности – $r = 0,97$. Незначительные расхождения (в пределах 1–2%) обусловлены различиями в методах интерполяции и сглаживания временных рядов между сравниваемыми платформами. Эти отклонения не влияли на балльную категорию, что подтверждает клиническую приемлемость разработанного модуля.

Обсуждение результатов

Разработанный алгоритм не заменяет врача, но облегчает рутинные вычисления и стандартизирует оценку. Строгое следование балльной системе и логике переходов снижает риск ошибочного завершения или назначения лишних этапов. Это особенно важно при растущей нагрузке на врачей-радиологов.

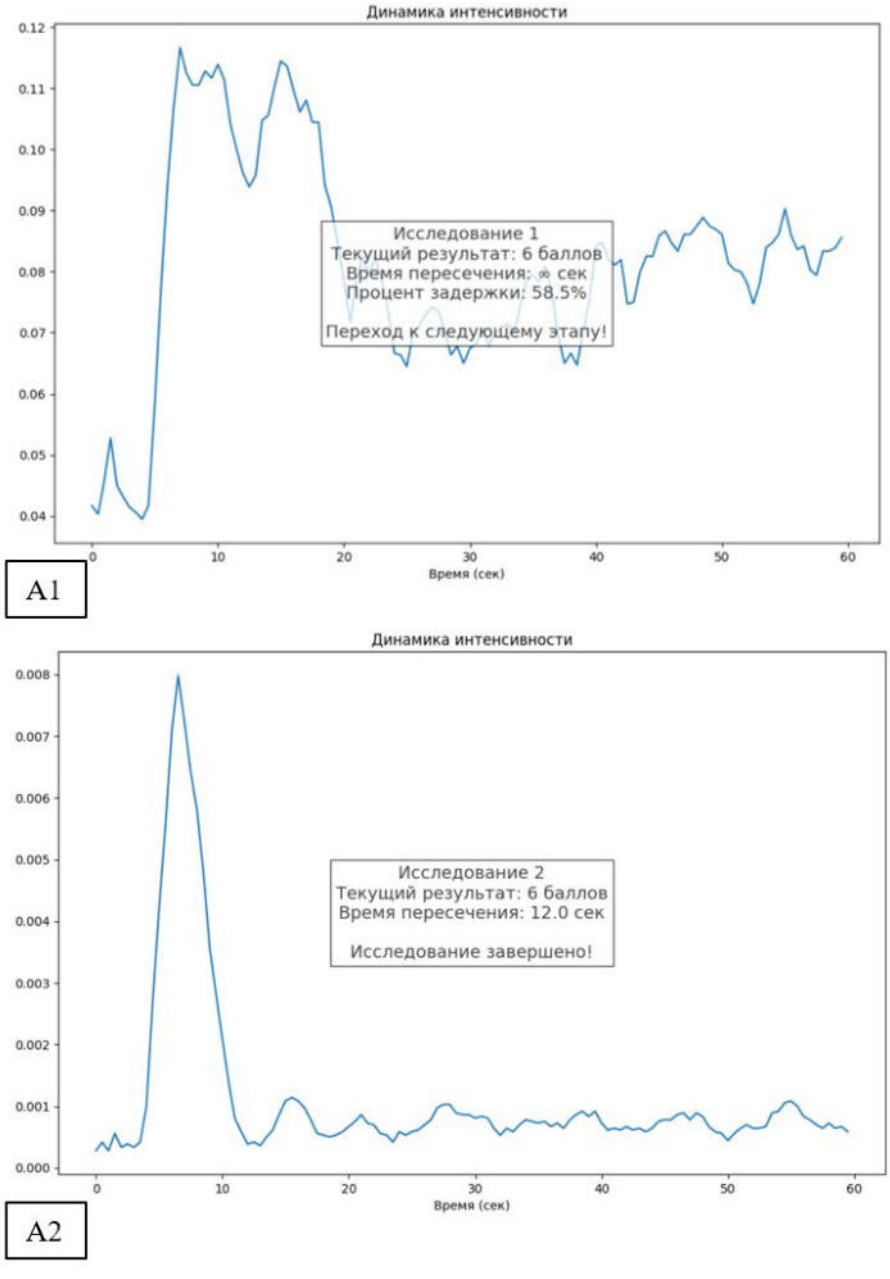


Рис. 3. Сцинтиграфические изображения пациента Н. на этапах горизонтального (А1) и вертикального (А2) положения

Основное ограничение – ручное выделение ROI. Мы выявили три типа потенциальных ошибок (захват желудка, интерпретация шума как активности, смещение из-за артефактов движения), но все они устранялись коррекцией контура, после чего программа давала результат, идентичный ручному. В перспективе планируется внедрение U-Net для автоматической сегментации [6], однако на текущем этапе мы оставляем этот шаг за врачом из соображений безопасности и верификации анатомических границ [7].

Ещё одно ограничение – работа только с DICOM; мы намерены расширить поддержку форматов и добавить автоматическое обнаружение фаз исследования. Единый протокол обработки повышает сопоставимость результатов между операторами и учреждениями, что критично при динамическом наблюдении.

Апробация на 30 случаях показала 100% совпадение итоговых баллов при корректной ROI. Время обработки сократилось с 8,2±1,6 до 1,6±0,3 минуты (в 5,1 раза, $p<0,001$); этап вы-

числений после выделения ROI – с 122,8 до 13,3 секунды. Ускорение достигается за счёт автоматического построения кривых, расчётов и определения балла, без необходимости сверки с таблицами. Коэффициенты корреляции с эталонным ПО составили 0,98 для времени транзита и 0,97 для остаточной активности; расхождения в пределах 1–2% не влияют на балльную категорию.

Выводы

Разработан формализованный алгоритм последовательной балльной оценки результатов динамической сцинтиграфии пищевода, охватывающий все три этапа исследования и логику переходов между ними. На его основе создан программный модуль на языке Python с графическим интерфейсом, который после ручного выделения области интереса полностью автоматически вычисляет время транзита, процент остаточной активности, определяет итоговый балл и указывает необходимость дальнейших этапов. Апробация на клиническом материале (30 пациентов) подтвердила 100% согласованность с ручным анализом при корректной постановке ROI и значительное сокращение времени обработки – более чем в 5 раз по сравнению с традиционным подходом. Внедрение алгоритмизированной обработки способствует стандартизации интерпретации, снижает влияние субъективного фактора и уменьшает вероятность ошибок при сопоставлении с балльными шкалами. Предложенное решение может быть рекомендовано для повседневной клинической практики в отделениях радионуклидной диагностики как эффективный вспомогательный инструмент. Оно также служит основой для дальнейших разработок в области автоматической сегментации и интеграции с медицинскими информационными системами.

Список литературы

1. Баширов Р.А., Самойленко Л.Е., Рыжкин С.А., Вартанян К.Ф., Гималетдинова Д.А., Юсупова А.Ф., Абдулганиева Д.И., Зиганшина Л.Ф., Заманова Э.С., Пузакин Е.В., Малов А.А., Шарафутдинов Б.М. Радионуклидная диагностика нарушений транспортной функции пищевода и гастроэзофагеального рефлюкса у пациентов с системной склеродермией // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2023. – Т. 104, № 2. – С. 124–137. – DOI: 10.20862/0042-4676-2023-104-2-124-137.

2. Насонов Е.Л. (ред.) Российские клинические рекомендации. Ревматология. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 464 с. [Nasonov E.L. (ed.) Russian clinical guidelines. Rheumatology. – Moscow : GEOTAR-Media, 2017. – 464 p. (In Russ.)].

3. Elhai M., Avouac J., Kahan A., Allanore Y. Systemic sclerosis: recent insights // Joint Bone Spine. – 2015. – Vol. 82, № 3. – P. 148–153. – DOI: 10.1016/j.jbspin.2014.10.010.

4. Pulkowski G., Budzyński J., Kłopocka M., Świątkowski M. Digestive tract in patients with systemic sclerosis // Reumatologia. – 2006. – Vol. 44, № 2. – P. 95–101.

5. Hughes M., Ong V.H., Anderson M.E., et al. Consensus best practice pathway of the UK Scleroderma Study Group: digital vasculopathy in systemic sclerosis // Rheumatology (Oxford). – 2015. – Vol. 54, № 11. – P. 2015–2024. – DOI: 10.1093/rheumatology/kev201.

6. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015 / Eds. Navab N., Hornegger J., Wells W.M., Frangi A.F. – Cham : Springer, 2015. – P. 234–241. – DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.

7. Weidemann A., Boriesosdiek J., Nassenstein K. Legal responsibility in AI-assisted radiological reporting // RöFo – Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren. – 2026. – DOI: 10.1055/a-2589-1234.

УДК 004.94:616-006.04-083.98

ПРОГРАММНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКОГО ПАЦИЕНТА В СИСТЕМЕ ВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ КАРТ ШЕСТОГО ПОКОЛЕНИЯ: ОТ КОНЦЕПЦИИ К РЕАЛИЗАЦИИ

Валиев Н.А., к.м.н., заведующий отделением общей, неотложной и паллиативной онкологии Республиканского клинического онкологического диспансера Министерства здравоохранения Республики Татарстан;
Вассаев Е.В., директор ООО «Линди-Кор»;
Гимадеев Ш.М., директор ООО «Научно-производственная фирма «Алтын Кэз», с. Сарманово;
Радченко С.В., к.м.н., заместитель главного врача по цифровой трансформации ГАУЗ «Городская поликлиника №8 г. Казани», г. Казань, Россия

VIRTUAL ONCOLOGICAL PATIENT AND SOFTWARE SIMULATION WITHIN A SIXTH-GENERATION EHR SYSTEM: FROM CONCEPT TO REALITY

Valiyev N.A., Candidate of Medical Sciences, Head of General Oncology Department in Tatarstan Republic Oncology Center;
Vassaev E.V., CEO of «LeanDI-Core» LLC;
Gimadeyev Sh.M., M.D., CEO of Altyn Kez LLC, Sarmanovo;
Radchenko S.V., Candidate of Medical Sciences, Deputy Chief Physician, Head of IT and Digital Transformation, Kazan, Russia

Аннотация

В статье представлен проект создания действующего прототипа системы ведения электронной медицинской карты (ЭМК) шестого поколения (G6), реализующего парадигму «Пророк» («The Seer»). В отличие от существующих систем, фиксирующих свершившиеся факты, предлагаемая архитектура базируется на упреждающем моделировании критических состояний у онкологических пациентов. Описаны теоретические предпосылки, архитектурные принципы, техническая платформа и этапы реализации. Начальный фокус проекта – неотложные состояния при опухолях брюшной полости и забрюшинного пространства. Прототип призван стать первым в России примером объединения реальных клинических данных, цифровых двойников пациентов и симуляционных сред в едином контуре для поддержки принятия решений в критических ситуациях.

Ключевые слова: электронная медицинская карта (ЭМК), шестое поколение систем ЭМК, цифровой двойник пациента, неотложная онкология, симуляционное моделирование, искусственный интеллект, HL7 CDA3, персонализированная медицина, «Пророк».

Abstract

The article presents a project aimed at developing a functional prototype of a sixth-generation (G6) electronic medical (health) record system (EMR/EHR-S) that embodies the «Seer» paradigm. In contrast to current systems that merely document past events, the proposed architecture is founded on predictive modeling of critical conditions in cancer patients. We outline the theoretical background, architectural principles, technical infrastructure, and the implementation roadmap. The initial focus of the project is on emergency conditions associated with abdominal and retroperitoneal malignancies. This prototype is intended to be Russia's first example of integrating real-world clinical data, digital patient twins, and simulation environments within a unified framework for clinical decision support in acute care settings.

Keywords: electronic medical record (EMR/EHR-S), sixth-generation EMR system, digital patient twin, emergency oncology, simulation modeling, artificial intelligence, HL7 CDA3, personalized medicine, The Seer

Введение

В течение последних двух десятилетий эволюция систем ведения ЭМК (электронной истории болезни) следовала логике, описанной в классификации Gartner: от простых «сборщиков», «The Collector» (поколение 1) и «архивариусов», «The Documentator» (поколение 2) к «помощникам», «The Helper», и «соратникам», «The Colleague» (поколения 3 – 4), интегрирующим системы поддержки принятия решений (СППР) [1]. Однако даже самые современные ЭМК-системы поколения 5 по классификации Gartner – «The Mentor» («Наставник») остаются, по сути, ретроспективными архивами. Они отвечают на вопрос «что произошло?», иногда на вопрос «что делать?», но не могут ответить на вопрос «что будет, если мы сделаем это?». Особенно остро этот разрыв ощущается в онкологии – области с высокой скоростью прогрессирования заболеваний, узким терапевтическим окном и плохо предсказуемыми критическими состояниями.

Даже поверхностный анализ предложенной Gartner классификации систем ЭМК (табл. 1) позволяет понять, какими возможностями и отличительными чертами должна обладать система шестого поколения. Ключевые характеристики, меняющиеся от поколения к поколению – активность роли системы по отношению к врачу, глубина интеграции, и степень поддержки принятия решений. Если экстраполировать логику Gartner (от сбора данных к партнёрству и наставничеству), то шестое поколение ЭМК – это уже не «программа рядом с врачом», а экосистема непрерывного медицинского сопровождения, где история болезни перестаёт быть хранилищем записей и становится активным узлом управления здоровьем. Проактивность и предсказательность, ожидаемые от системы G6, позволяют называть её «The Seer» («Пророк»).

Таблица 1

Существующая классификация ЭМК по Gartner дополнена поколением 6 путём экстраполяции изменений характеристик

Поколение ЭМК	Англоязычное наименование	Русскоязычное наименование	Ключевые возможности
1	The Collector	Сборщик	Сбор и предоставления доступа к клиническим данным, ранее разрозненным или существовавшим только на бумаге
2	The Documentator	Архивариус	Ведение медицинской документации непосредственно в точке оказания помощи (point-of-care). Заменяет бумажные истории болезни, но пока не обладают развитыми функциями поддержки принятия решений.
3	The Helper	Помощник	Интегрируют функции поддержки принятия решений (например, систему ввода лекарственных назначений) и помогают применять принципы доказательной медицины. Такие функции должны охватывать несколько мест оказания помощи (амбулаторное и стационарное звено).

Окончание табл. 1

Поколение ЭМК	Англоязычное наименование	Русскоязычное наименование	Ключевые возможности
4	The Colleague	Соратник	Обеспечивают более сложную поддержку принятия решений и рабочие процессы. Предоставляют функционал для синтеза, навигации и презентации клинических данных, а также поддерживают управление клиническими протоколами и стандартами лечения.
5	The Mentor	Наставник	Интеллектуальные системы должны обеспечивать полную поддержку в принятии решений, охватывать весь континуум медицинской помощи и иметь функции контекстно-зависимого руководства для врачей, практически выступая в роли наставника.
6	The Seer	Пророк	Отвечает на любые запросы пользователя вида «что будет, если…»

Шестое поколение ЭМК должно перейти от регистрации событий к упреждающему моделированию, становясь не просто архивом, а вычислительной средой для тестирования гипотез. Важным следствием проактивности и предиктивности системы G6 станет снижение когнитивной нагрузки на врача, представляющей серьёзную проблему современной медицины [2]. Настоящая статья описывает проект создания действующего прототипа такой системы на основе клинических данных Республиканского клинического онкологического диспансера. Прототип демонстрирует способность интеграции реальных прецедентов, математических моделей и симуляционных алгоритмов.

Цели и задачи проекта

Целью проекта явилась отработка архитектурных аспектов и демонстрация жизнеспособности концепции системы ЭМК G6. Для этого нами выбрана наиболее сложная и клинически значимая область – неотложные состояния при опухолях брюшной полости и забрюшинного пространства. Выбор обусловлен высокой частотой осложнений, угрожающих жизни (кровотечения, кишечная непроходимость, перитонит) в этой группе пациентов и острой потребностью в инструментах, позволяющих прогнозировать динамику состояния.

Задачи стартового этапа:

1. Разработка семантического ядра: создание онтологии, описывающей пациентов с опухолями брюшной полости в виде графа состояний и векторов значений физиологических показателей. Онтология должна быть реализована в качестве единой точки обмена между реальной системой ЭМК и симулятором.

2. Интеграция данных: настройка адаптеров для извлечения, нормализации и деперсонализации данных из унаследованных неструктурированных текстов и архивных документов HL7 CDA3 для формирования выборок для обучения моделей и создания тестовых цифровых двойников.

3. Создание «Песочницы» (Sandbox): реализация симуляционного контура на основе Java-сервера приложений и Python-модулей, который позволит врачу запускать цифрового двойника пациента в изолированной среде для отработки сценариев лечения.

4. Построение предиктора критических состояний: разработка и обучение модели машинного обучения, которая по текущим данным пациента будет предсказывать вероятность развития неотложного состояния в ближайшие 24 часа.

Материалы и методы

В качестве источника данных для моделирования, обучения системы, валидации прогнозов и формирования библиотеки типовых сценариев доступна прецедентная база республиканского онкоцентра за период с 2004 по 2025 г., всего около 15 млн медицинских документов. Помимо результатов ручной обработки бумажных историй болезни, база прецедентов включает дата-сеты в формате HL7 CDA уровней 2 и 3 за последние 4 года.

Ранее построенная квазивиртуальная модель неотложных состояний, в том числе у пациентов с не онкологической и смешанной патологией [3] взята за основу поддержки виртуального режима ЭМК. Модель учитывает динамику состояния, ответ на вмешательства и исходы, что позволяет отрабатывать оптимальную тактику в безопасной среде.

Операционная среда, пользовательские интерфейсы и эргономические решения заимствованы из ранее созданных нами систем ЭМК предыдущих поколений. В них были отработаны формализованный ввод данных и интеграция систем поддержки принятия решений (СППР) на базе гибридной модели ИИ [4]. Это дало понимание методов структурирования данных для приведения к необходимому уровню аналитической зрелости, и возможность встраивать рекомендации в рабочий процесс врача.

Среда исполнения реализуется на платформе интенсивной обработки данных в КИИ с поддержкой управления агентами [5]. Она позволяет запускать расчёты, симуляции и аналитические задачи параллельно с работой врача в ЭМК, не замедляя интерфейс. Прототип строится на следующей компонентной связке:

Фронтенд – JS-фреймворк типа Vaadin или Vue для реализации форм ввода, панелей сценариев и сводками рисков, адаптированных под работу в приёмном отделении и на обходе.

Бэкенд – собственный сервер приложений на Java для исполнения бизнес-логики, маршрутизации задач, интеграции с внешними системами и безопасность.

СУБД SoQoL для поддержки промежуточного хранения данных до их передачи в архив и обеспечения быстрого и безотказного доступа к актуальным записям.

Аналитический слой – на базе Python. В нём размещаются модели прогнозирования, симуляции сценариев и алгоритмы поддержки принятия решений. Платформа интенсивной обработки данных позволяет запускать эти задачи асинхронно и управлять ими через агентов. Архитектура разделена на оперативный контур (Production) для реальных пациентов, архивный (для хранения и аналитики) и обучающий (Simulation Sandbox) для отработки навыков. Между ними реализованы интерфейсы обмена данными на базе FHIR.

Результаты

В качестве действующего прототипа ЭМК G6 спроектирована и реализована квазивиртуальная модель пациента на примере лёгочного кровотечения и кровотечения из пищеварительного тракта, как осложнений онкологического заболевания. Реализация модели позволяет детально прогнозировать динамику кровотечения при осуществлении пробной деятельности в отношении цифрового двойника пациента. Персонализация лечебно-диагностической тактики происходит за счёт передачи данных реального пациента на вход модели в рамках открытого случая (набор входных переменных). В качестве рабочей выбирается одна из шести моделей, отличающихся значениями основных математических параметров. Выбор конкретной модели по умолчанию производится автоматически по результатам анализа значений входных переменных, и вручную – при включённом режиме обучения.

Архитектура системы построена с четырьмя ключевыми уровнями:

1. Уровень данных: включает в себя оперативный контур (текущие данные пациента) и архивный контур (обезличенные HL7 CDA3). Управление данными ведется на СУБД SoQoL, обеспечивающей высокую производительность и совместимость с медицинскими стандартами.

2. Уровень семантического ядра и моделей: слой, содержащий библиотеку моделей физиологии (начиная с модели кровотечения) и цифровых двойников. Управляется на Python с использованием специализированных фреймворков глубокого обучения.

3. Уровень сервисов и агентов: включает в себя сервер приложений на Java, обеспечивающий управление сессиями симуляции, механизм «форка» (изолированного клонирования цифрового двойника) и маршрутизацию данных между компонентами.

4. Пользовательский уровень: фронтенд, реализованный с использованием JS-фреймворков (Vaadin или Vue), предоставляющий два режима: клинический (интерфейс врача с прогнозами) и виртуальный (интерфейс для обучения и отработки навыков).

Пользовательский интерфейс G6 в целом соответствует интерфейсу ЭМК предыдущих поколений, но содержит дополнительные элементы управления, необходимые для включения/выключения виртуального режима и работы в нём (рис. 1). Перемещение по шкале времени поддерживает как ручной, так и автоматический способы (режим псевдореального времени). Поскольку организм пациента является сложной гетерогенной динамической системой, он включает быстрые и медленные компоненты [6]. Необходимость учёта клинически важных фазовых переходов привела авторов к поддержке ручного изменения масштаба отсчёта псевдореального времени от 1:1 (псевдореальное совпадает с реальным) до 1:60 (одна минута псевдореального за одну секунду реального). Псевдореальное время целесообразно использовать в клинической ситуации, для которой система предсказала возникновение того или иного осложнения с развитием неотложного состояния.

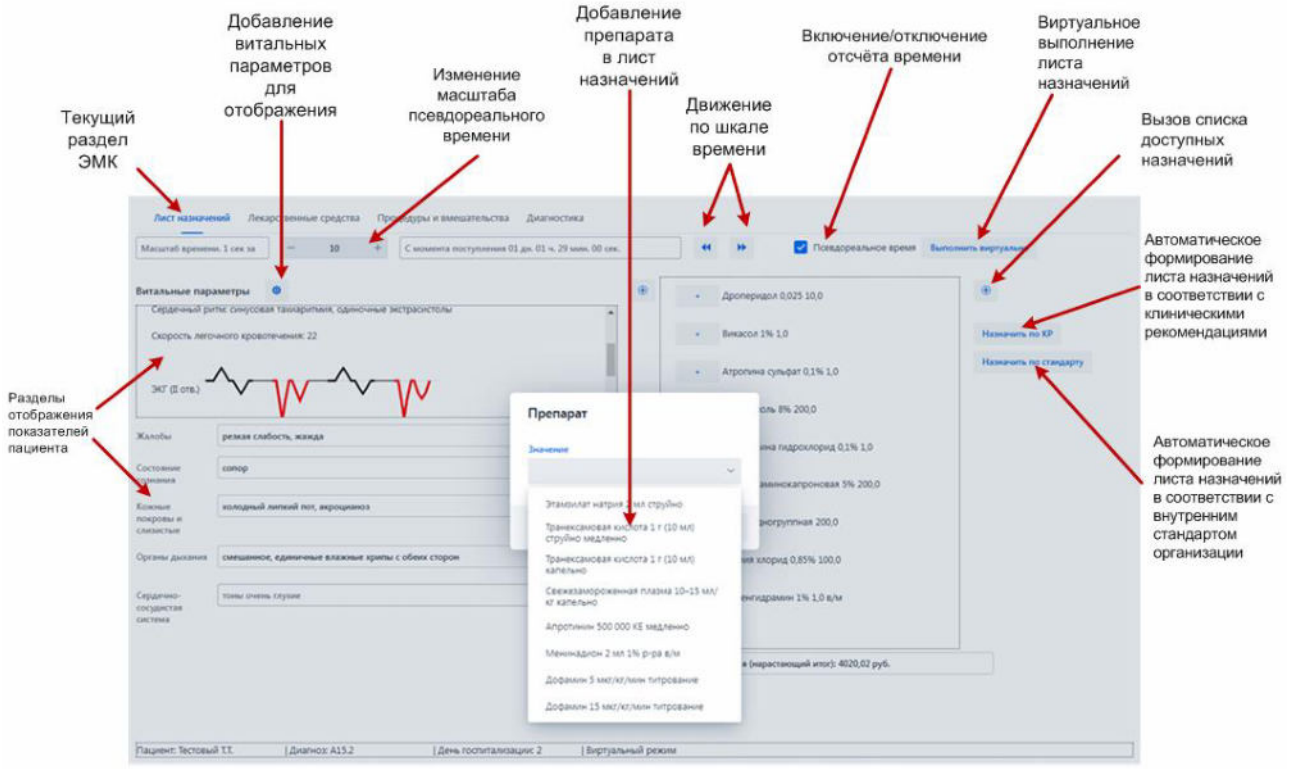


Рис. 1. Пользовательский интерфейс прототипа системы ЭМК G6

Монитор состояния пациента является настраиваемым. Он делится на две зоны – зону жизненно-важных показателей («Витальные параметры»), и зону результатов осмотра. Набор показателей по умолчанию в зоне осмотра имеет клинический контекст, то есть зависит от диагноза (диагноз отображается в строке состояния). При изменении клинического контекста меняются и приоритеты мониторирования, поэтому показатели могут добавляться в окно витальных параметров, и удаляться из него.

Система ЭМК является главным источником данных для управления ресурсами медицинской организации [7]. Исходя из этого, помимо показателей на мониторе состояния пациента, постоянно отображаемым показателем выбрана стоимость лечения. В зависимости

от доступности источников данных для конкретного экземпляра развёрнутой системы ЭМК, значение стоимости лечения может быть результатом разных расчётных моделей – от простейших линейных, учитывающих только справочную стоимость койко-дня и закупочную цену лекарственных средств и изделий медицинского назначения, до сложных алгоритмов, динамически изменяющих драйверы затрат, операций и ресурсов.

В прототипе поддерживается пересчёт мониторируемых показателей при отключённом псевдореальном времени с учётом выбора точки на шкале времени и (или) выбора средств воздействия на организм в листе назначений. В этом смысле она является аналогом кнопки «Calc» в ранних электронных таблицах, запуская компиляцию назначенных расчётов. Перед подтверждением виртуального выполнения выбираются необходимые средства в окне отображения списка назначений, а после запуска виртуального выполнения – интересующая контрольная точка в будущем.

Обсуждение результатов

Итоги раннего альфа-тестирования созданного прототипа ЭМК G6 даже по одному клиническому профилю позволяют сформулировать ближайшие перспективы развития системы. В первую очередь они затрагивают направление развития, связанное с применением готовых сценариев оптимизации. Например, запрос пользователя к ЭМК может выглядеть следующим образом – «сформируй листы назначений и обозначь контрольные точки для того, чтобы стоимость лечения не превысила 600 тыс. руб.», или «дай детальные тактические рекомендации и сформируй необходимые назначения для минимизации количества койко-дней». В обучающем варианте использования дополнительная настройка сеанса работы с ЭМК может содержать предписания вида «установи тяжесть состояния пациента и вероятность ятрогенных осложнений на максимум».

Нейросети глубокого обучения в рамках гибридной модели могут быть задействованы не только для искусственной формализации входных данных, но и для комплексной декларативной оценки выходных результатов – ошибок и достижений пользователя, как в реальном, так и виртуальном сеансах работы. При этом процедурный компонент ЭМК G6 позволяет использовать сколь угодно глубокую декомпозицию клинической картины в любой точке временной шкалы, будучи при этом бесшовно интегрированной с онтологиями повседневной практики врача. Процедурный вывод системы в ходе вычислительного эксперимента воспринимается более обоснованным и понятным предметному специалисту, а в отношении обучаемого (студента, ординатора, курсанта) оказывает значительно больший дидактический эффект.

В системе ЭМК G6 впервые находится место интерфейсу для пациента. Он может включать дашборды своего состояния, содержащие визуализацию прогноза для различных вариантов лечения, динамические рекомендации, и средства геймификации вовлечённости в лечение, а также модуль принятия решений пациентом. Принятие решения пациентом может затрагивать выбор вариантов лечения с учётом личных предпочтений. Например, выбор одного из двух сценариев на неделю: «План А: высокая доза химии – больше тошноты, но выше шанс на ремиссию. План Б: сниженная доза – легче переносится, но риск рецидива на 8% выше». Приоритеты пациента фиксируются системой и передаются врачу как весомый параметр для итогового оптимизационного расчёта [8]. ЭМК пересчитывает фронт Парето с учётом этих приоритетов [9]. Поскольку при тяжёлых или продолжительных заболеваниях пациент и его семья – часть медицинской бригады (уход, раннее выявление тревожных симптомов), ЭМК G6 также может выступать в роли обучающего портала, интегрируя персонализированный образовательный модуль.

В целом можно утверждать, что система ЭМК шестого поколения – это не просто очередная модификация медицинского программного обеспечения. Это смена философии взаимодействия врача, пациента и данных. Наличие обширной прецедентной базы, проверенных математических моделей и высокопроизводительной платформы делает реализацию тако-

го проекта в области социально-значимых заболеваний не только научно обоснованной, но и достижимой технологически. Предложенный прототип может стать первым шагом к созданию в России интеллектуального каркаса онкологической помощи, способного работать на опережение.

Выводы

1. Достижение цифровой зрелости в медицине требует смены парадигмы в создании и использовании систем ведения ЭМК – с переходом от учёта клинических событий к их предсказанию.

2. Реализация систем ЭМК шестого поколения приводит к естественному объединению лечебно-диагностического процесса и медицинского образования с формированием у пользователей междисциплинарных компетенций.

3. Устойчивость к неопределённости и дефициту данных в ЭМК шестого поколения на этапе эксплуатации может быть обеспечено обучением системы на больших данных на этапе разработки и способностью системы к самообучению в последующем.

4. Системы ЭМК шестого поколения при условии их широкого распространения и дальнейшего развития окажутся главным инструментом проактивной и пациентоцентрической медицины.

Список литературы

1. Gartner survey of EHR suppliers and systems in the Norwegian market. Version 1.0. Gartner, Inc. Commissioned by the Ministry of Health and Care Services. – 2014. – P. 9–11. – URL: https://www.regjeringen.no/contentassets/355890dd2872413b838066702dcdad88/gartner_survey_ehr_suppliers_systems_norwegian_market.pdf (дата обращения: 30.08.2026). – Текст: электронный.

2. Elizabeth T. Toll, Christine A. Sinsky. The Deep Work of Doctoring-Prioritizing Relationships in Medicine. – JAMA Intern. Med. – 2023 Sep 1; 183(9):904-905. doi: 10.1001/jamainternmed.2023.3012.

3. Радченко С.В., Лагутин М.С., Латыпов А.И., Гимадеев Ш.М. Виртуальный пациент как средство персонализации медицины. //В кн.: Вычислительная биология и искусственный интеллект для персонализированной медицины. Межд. конф. 23 сентября 2021 г. Сборник тезисов. – докл. 32. – DOI: 10.14341/CBAIPM-2021-32. – Текст: электронный.

4. Васильев Г.Г., Коростелева А.В., Осипов С.А., Радченко С.В. Искусственный интеллект как средство поддержки клинического контекста в системе электронных медицинских карт нового поколения. – В кн.: Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2025: сборник материалов / Сост.: Р.Ш. Ахмадиева, Р.Н. Минниханов; Под общей ред. член-корр. Академии наук Республики Татарстан, д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова. – Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2025. – Т.1. – С. 1670-1179.

5. Вассаев Е.В., Материкина Н.Н., Мягков С.В., Радченко С.В. Критическая информационная инфраструктура в здравоохранении – решение проблемы интенсивной обработки данных. – В кн.: Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2025: сборник материалов / Сост.: Р.Ш. Ахмадиева, Р.Н. Минниханов; Под общей ред. член-корр. Академии наук Республики Татарстан, д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова. – Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2025. – Т.1. – С. 1163-1170.

6. Неймарк Ю.И. Математическое моделирование как наука и искусство: Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2010. – 420 с.

7. José Carlos Ferrão, Mónica Duarte Oliveira, Daniel Gartner, Filipe Janela, Henrique M.G. Martins. Leveraging electronic health record data to inform hospital resource management: A systematic data mining approach. – Health Care Manag. Sci. – 2021 Dec; 24(4):716-741. doi:10.1007/s10729-021-09554-4.

8. Arti A. Sardessai-Nadkarni, Richard L. Street Jr. Understanding the pathways linking patient-centered communication to cancer survivors' emotional health: examining the mediating roles of self-

efficacy and cognitive reappraisal. – J. Cancer Surviv. – 2023 Oct; 17(5):1266-1275. doi:0.1007/s11764-022-01170-7.

9. Filip Lievens, Paul R. Sackett, Wilfried De Corte. Weighting admission scores to balance predictiveness-diversity: The Pareto-optimization approach. – Med. Educ. – 2022 Feb; 56(2):151-158. doi: 10.1111/medu.14606.

УДК 616.1:614.2:004.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫМИ ФАКТОРАМИ РИСКА БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ «УПРАВЛЕНИЕ МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫМИ ФАКТОРАМИ РИСКА КАРДИОВАСКУЛЯРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ-ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ»

Галимзянов А.Ф., к.м.н., доцент кафедры общественного здоровья и организации здравоохранения Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета, заместитель генерального директора ГАУЗ «Межрегиональный клинико-диагностический центр»;
ORCID: 0000-0003-1578-7814;
Хайруллин Р.Н., д.м.н., член Академии наук Республики Татарстан, генеральный директор ГАУЗ «Межрегиональный клинико-диагностический центр»;
ORCID: 0000-0002-2160-7720;
Галиуллин А.Н., д.м.н., профессор кафедры общественного здоровья и организации здравоохранения;
ORCID: 0000-0002-1294-4055;
Каримов И.Ф., аспирант кафедры общественного здоровья и организации здравоохранения;
ORCID: 0009-0000-3330-4850;
Гайфуллина Р.Ф., к.м.н., доцент, заведующая кафедрой общественного здоровья и организации здравоохранения;
ORCID: 0000-0002-0922-5850;
Валеева Ю.В., к.м.н., доцент кафедры неотложной медицинской помощи и симуляционной медицины Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета., г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1029-4511

MODELING THE MANAGEMENT OF MEDICAL-SOCIAL RISK FACTORS FOR CIRCULATORY SYSTEM DISEASES THROUGH THE DEVELOPMENT OF THE “ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED MANAGEMENT OF MEDICAL-SOCIAL RISK FACTORS FOR CARDIOVASCULAR DISEASES” PROGRAM

Galimzyanov A.F., Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Public Health and Healthcare Organization, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Deputy General Director, State Autonomous Healthcare Institution «Interregional Clinical Diagnostic Center»;
ORCID: 0000-0003-1578-7814;
Khairullin R.N., Doctor of Medical Sciences, Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, General Director, State Autonomous Healthcare Institution «Interregional Clinical Diagnostic Center»;
ORCID: 0000-0002-2160-7720;
Galiullin A.N., Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Public Health and Healthcare Organization;
ORCID: 0000-0002-1294-4055;

Karimov I.F., PhD student, Department of Public Health and Healthcare Organization;
ORCID: 0009-0000-3330-4850;
Gaifullina R.F., Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Public Health and Healthcare Organization;
ORCID: 0000-0002-0922-5850;
Valeeva Yu.V., Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Emergency Medical Care and Simulation Medicine, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-1029-4511

Аннотация

В настоящее время профилактика болезней системы кровообращения невозможна без коррекции факторов риска их возникновения и развития. В результате скрининга населения на выявление факторов риска образуются большие объемы данных, нуждающиеся в цифровой обработке, хранении и управлении с помощью искусственного интеллекта.

Для управления факторами риска у населения нами была создана программа «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект», направленная на их выявление и коррекцию негативного влияния. В нашем исследовании были учтены основные факторы, влияющие на развитие болезней системы кровообращения: возраст, пол, наследственная отягощённость, артериальная гипертензия, гиперхолестеринемия, гипергликемия, сниженная скорость клубочковой фильтрации, повышенный индекс массы тела, повышенный уровень риска по шкале SCORE.

За 2018–2019 гг. в программе были зарегистрированы данные 111522 пациентов. В соответствии с созданной программой проанализирована распространенность начального и среднего уровня изучаемых факторов риска до и через один год после проведенного профилактического консультирования. В результате проведенного исследования констатировано достоверное снижение среднего уровня всех изучаемых факторов риска кроме скорости клубочковой фильтрации и индекса массы тела в группе вторичной профилактики.

Ключевые слова: медико-социальные факторы риска болезней системы кровообращения, искусственный интеллект, шкала SCORE, сканирование сонных артерий

Abstract

Nowadays, the prevention of circulatory system diseases is impossible without addressing the risk factors associated with their onset and progression. Population screening to identify these risk factors generates vast amounts of data requiring digital processing, storage, and management via artificial intelligence.

To manage population risk factors, we developed a program titled “Artificial Intelligence-Based Management of Medical and Social Risk Factors for Cardiovascular Diseases”, aimed at identifying these factors and mitigating their adverse effects. Our study accounted for key factors influencing the development of circulatory system diseases: age, gender, family history, arterial hypertension, hypercholesterolemia, hyperglycemia, reduced glomerular filtration rate, elevated body mass index, and high risk levels according to the SCORE scale.

Data from 111,522 patients were registered in the program between 2018 and 2019. Using the developed program, we analyzed the prevalence and mean levels of the studied risk factors both before and one year after preventive counseling. The study revealed a statistically significant reduction in the mean levels of all studied risk factors-with the exception of glomerular filtration rate and body mass index-within the secondary prevention group.

Keywords: medical and social risk factors for circulatory system diseases, artificial intelligence, SCORE scale, carotid artery scanning

Введение

Болезни системы кровообращения (БСК) на сегодняшний день являются основным фактором формирования показателей смертности населения Российской Федерации (РФ) (Енина Е.Н., 2024; Суслин С.А., 2024) [1, 2]. Так, смертность от БСК в РФ возросла с 5,5 в 2023 году до 5,9 на 1000 населения в 2024 году (на 7,3%), распространенность БСК за тот же период выросла с 318,2 до 345,2 на 1000 населения (на 8,5%) [3]. Это обусловило необходимость повышения эффективности действий по снижению влияния БСК на демографию в РФ, в первую очередь профилактики. Известно, что возникновение и развитие БСК связано с имеющимися у пациентов факторов риска (ФР), оказывающие изолированное и сочетанное негативное влияние на эти заболевания (Галимзянов А.Ф., 2024) [4]. Профилактика БСК строится на учете и коррекции ФР возникновения и развития БСК. На современном этапе для ведения деятельности по обработке и хранению больших массивов данных, полученных в результате профилактических осмотров пациентов, применяют информационные системы, в том числе обладающие искусственным интеллектом (ИИ) [5, 6]. Современная медицина с целью принятия решений требует интеграции различных форм данных о пациентах, включая паспортные данные, характеристики симптомов, результаты инструментальных и лабораторных исследований. В клинических условиях ИИ хорошо зарекомендовал себя в выявлении и коррекции ФР неинфекционных хронических заболеваний, диагностике БСК, повышении эффективности вспомогательных инструментов, стратификации и типизации заболеваний, а также прогнозировании результатов [7, 8]. Однако информации, свидетельствующей о фактах функционирования в РФ специализированных программ с ИИ по управлению сердечно-сосудистыми рисками у населения в доступной литературе мы не встретили. Поэтому, в целях изучения возможностей ИИ в управлении медико-социальными ФР при БСК, позволяющих снизить заболеваемость, смертность от этих болезней является важным и актуальным.

Цель – создание модели управления медико-социальными факторами риска болезней системы кровообращения населения Республики Татарстан путем разработки программы «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект».

Методика исследования

В целях организации деятельности по управлению факторами риска БСК у пациентов Республики Татарстан (РТ) нами было применено специализированное программное обеспечение «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект», созданное на основе информационной «Платформы медицинского обслуживания для скрининга, профилактики и ухода за пациентами с хроническими заболеваниями Porta Vita» (Регистрационное удостоверение на медицинское изделие от 27 февраля 2019 года № РЗН 2019/8170). Создание программы было основано на протоколе «Кардиоваскулярный риск-менеджмент CVRM 2012 нидерландского общества семейных врачей (версия апрель 2017)» [8]. Для применения в условиях РФ программа была адаптирована путем создания рабочей группы специалистов ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России и ГАУЗ «Межрегиональный клинико-диагностический центр» Минздрава РТ [9]. Программа базировалась на международных стандартах HL7, IHE и SNOMED CT. Работа программного обеспечения осуществлялась через web-браузер IE, Opera, Mozilla Fierfox, Yandex и другие. Информационная система являлась кроссплатформенной, с поддержкой Window, linux, iOS, Android.

Главной целью программы «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект» являлось раннее выявление лиц с высоким сердечно-сосудистым риском и проведение у них активных профилактических мероприятий для устранения (ослабления) влияния ФР для предотвращения возникновения и развития БСК.

Задачи программы:

1. Создание единого информационного поля для взаимодействия врачей и пациентов.

2. Фиксация и архивирование выявленных ФР возникновения и развития БСК.

3. Оценка степени сердечно-сосудистого риска и формирование персонализированных рекомендаций по изменению образа жизни, диагностике или лечению.

4. Оценка динамики уровня сердечно-сосудистого риска и ФР.

5. Предоставление пациенту личного кабинета.

6. Построение регистров пациентов согласно выявленным ФР.

7. Предоставление результатов анализа распространенности и выраженности ФР на популяционном уровне.

В нашем исследовании были учтены следующие ФР БСК: возраст, пол, семейный анамнез по БСК, артериальная гипертензия (АГ), гиперхолестеринемия, гипергликемия, сниженная скорость клубочковой фильтрации (СКФ), повышенный индекс массы тела (ИМТ), повышенный уровень риска по шкале SCORE.

Регистрация, профилактическое консультирование и дальнейшая курация пациентов в программе осуществлялись на базе амбулаторных медицинских организаций государственной и муниципальной форм собственности. Информация вводилась участковыми врачами и медицинскими сестрами во время проведения профилактических медицинских осмотров пациентов на основании их территориального прикрепления. С целью сокращения времени врачебного приема значительная часть ответов на вопросы была собрана посредством заполнения «Карты изучения влияния факторов риска на формирование и развитие сердечно-сосудистых заболеваний у населения, проживающего в Республике Татарстан» и заочно внесена в программу «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект».

Определение уровня сердечно-сосудистого риска проводилось пациентам, имевшим АГ, гиперхолестеринемию, курящим, с отягощенной наследственностью по БСК, с приемом антигипертензивных препаратов и статинов. Лица, у которых был выявлен хотя бы один из изучаемых ФР при отсутствии установленного БСК, составили группу первичной профилактики (ГПП). Группу вторичной профилактики (ГВП) составили пациенты, страдавшие сформированными заболеваниями из группы БСК. Периодичность наблюдения пациентов в программе варьировала от одного раза до двух раз в год в зависимости от уровня ФР БСК и наличия сопутствующих заболеваний.

Алгоритм работы программы включал следующие этапы:

1. *Регистрация пациента или поиск пациента в базе данных программы.* В программу вносились паспортные данные пациента, возраст, пол, семейный анамнез по БСК и информация о лечащем враче. Номер СНИЛС становился учетным номером данного пациента в программе.

2. *Введение в программу параметрических данных, результатов лабораторных исследований и показателей образа жизни.* Включались ИМТ, уровень артериального давления, результаты лабораторных исследований крови. Для корректного расчета сердечно-сосудистого риска должно было быть введено не менее трех обязательных показателей: уровни глюкозы, холестерина и креатинина крови с оценкой СКФ. При этом также учитывались показатели образа жизни, такие как физическая активность, питание, табакокурение, потребление алкоголя.

3. *Проведение осмотра пациента.* При проведении профилактического консультирования врачом заполнялись поля анамнеза, сопутствующих заболеваний, принимаемых лекарств, имевшихся ФР БСК, результатов дополнительных исследований и мероприятий по коррекции имеющихся ФР. На основании всех введенных данных, программа автоматически рассчитывала абсолютный риск развития фатального сердечно-сосудистого осложнения в течение ближайших 10 лет по шкале SCORE (Systematic Coronary Risk Evaluation) в процентах. Шкала SCORE – наиболее распространенная система определения суммарного сердечно-сосудистого риска, рассчитывающая риск наступления смерти в течение ближайших 10 лет на основании

оценки пяти ФР: возраст, пол, АД, содержание холестерина крови и табакокурение [10]. Сердечно-сосудистый риск менее 1% считался низким, от 1 до 5% – умеренным, от 5 до 10% – высоким, свыше 10% – очень высоким. При введении необходимых данных программа формировала таблицу с указанием уровня риска у конкретного пациента. Наглядная демонстрация уровня риска фатального сердечно-сосудистого осложнения, демонстрируемая пациенту врачом во время профилактического консультирования, оказывала дополнительное психологическое воздействие с целью изменения образа его жизни. У пациентов с установленным БСК шкала SCORE не использовалась, поскольку такие пациенты автоматически были отнесены к категории высокого и очень высокого риска и в любом случае нуждались в активных профилактических мероприятиях. При завершении консультации формировались документы для представления на оплату в региональное отделение ФОМС.

4. *Планирование следующего осмотра пациента.*

5. *Запрос и передача пациента в другую медицинскую организацию.* В рамках программы врач мог отправить запрос в другую медицинскую организацию для направления пациента на дополнительное исследование или консультацию. Это происходило, если пациент имел одно или несколько сопутствующих заболеваний и нуждался в направлении к профильному специалисту, отсутствующему в своей клинике.

Задействование алгоритма программы «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект» на основании введенных данных и определения уровня сердечно-сосудистого риска предлагал дальнейшие действия в отношении пациента. На основе выявленных ФР БСК программа формировала алгоритм ведения пациента, представленный на рис. 1.

Программа «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект» на основе анализа введенных данных больших групп пациентов формировала управленческую отчетность для территориальных органов здравоохранения. Основными данными являлись оценка среднего уровня ФР БСК и их распространенности среди населения в разрезе территориальных образований.

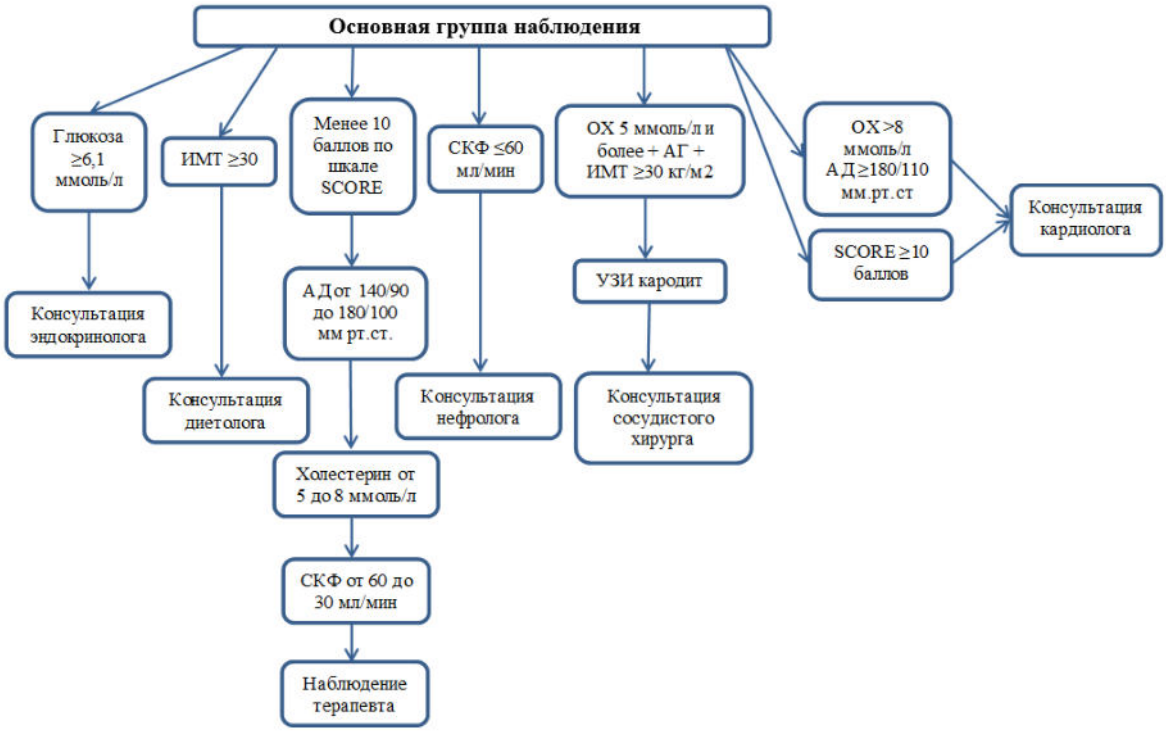


Рис. 1. Алгоритм ведения пациента в программе «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект»

Результаты

Согласно приказу Минздрава РТ №2070 от 17.09.2018 г. с изменениями (приказ №2920 от 29.12.2018г.) в 2018–2019 годах была осуществлена деятельность по учету пациентов, имеющих ФР БСК, в программе «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект». Всего были зарегистрированы данные 111522 участвующих в исследовании пациентов с ФР БСК, из них в 2018 году – 32746 пациентов, в 2019 – 78776. Для участия в программе были задействованы 33 медицинские организации, каждая из которых зарегистрировала в программе от 2000 до 3500 пациентов, посетивших поликлинику с целью прохождения профилактического медицинского осмотра. Средний возраст исследуемой когорты (X ср.) составил 62,4±11,9 года. Число женщин составило 75380 чел. (67,6%), средний возраст (X ср.) 62,4±12,2 года, мужчин – 36142 чел. (32,4%), средний возраст (X ср.) 60,3±10,4 года. В 2018 году в базу внесены данные 32746 пациентов, в 2019 – еще 78776. Программа представила картину распространенности выявленных ФР БСК (табл. 1).

Таблица 1

Распространенность факторов риска болезней системы кровообращения в группах первичной и вторичной профилактики

№	Факторы риска	Группа первичной профилактики (ГПП)			Группа вторичной профилактики (ГВП)		
		Кол-во обслед. лиц	Соответствие критерию	Доля (%)	Кол-во обслед. лиц	Соответствие критерию	Доля (%)
1.	Всего пациентов	111522	95758	85,9	111522	15764	14,1
2.	Распределение по полу						
2.1	мужчины	95758	28986	30,3	15764	7156	45,4
2.2	женщины	95758	66772	69,7	15764	8608	54,6
3.	Распределение по возрасту						
3.1	18-60 лет	95758	38226	39,9	15764	2943	18,7
3.2	60 лет и старше	95758	57532	60,1	15764	12821	81,3
4.	Распределение по факторам риска						
4.1	АГ в анамнезе: ответ «Да»	75151	65573	87,3	15092	14522	96,2
4.2	АД 140/90 мм рт. ст. и выше	87582	30015	34,3	15481	5691	36,8
4.3	АД 180/100 мм рт. ст. и выше	87582	489	0,6	15481	168	1,1
4.4	ИМТ 30 кг/м² и более	82005	23133	28,2	14850	5049	34,0
4.5	Холестерин 5 ммоль/л и выше	88561	63552	71,8	15006	9823	65,5
4.6	Холестерин 8 ммоль/л и выше	88561	1937	2,2	15006	296	2,0
4.7	Глюкоза крови натощак 6,1 ммоль/л и выше	83179	11026	13,3	14976	3194	21,3
4.8	СКФ меньше 60 мл/мин	30207	5747	19,0	8691	2252	25,9
4.9	СКФ меньше 30 мл/мин	30207	121	0,4	0	0	0
4.1	Курение: ответ «Да»	83993	3099	3,7	15118	598	4,0

Окончание табл. 1

№	Факторы риска	Группа первичной профилактики (ГПП)			Группа вторичной профилактики (ГВП)		
		Кол-во обслед. лиц	Соответствие критерию	Доля (%)	Кол-во обслед. лиц	Соответствие критерию	Доля (%)
4.1	Риск по SCORE <1%	62334	2901	4,7			
4.1	Риск по SCORE от 1 до 4,99%	62334	37801	60,6			
4.1	Риск по SCORE от 5% до 9,9%	62334	17841	28,6			
4.1	Риск по SCORE 10% или выше	62334	3791	6,1			
4.1	Сочетание трех факторов: АД 140/90 мм рт. ст. и выше, холестерин 5 ммоль/л и выше, ИМТ 30 кг/м² и выше	76868	6703	8,7			

Согласно таблице 1, наибольшее распространение из всех изученных ФР БСК в обеих группах получила АГ, на втором месте гиперхолестеринемия, на третьем – повышенный ИМТ. Суммарно высокий и очень высокий уровень риска по шкале SCORE были выявлены у каждого третьего обследованного пациента (34,7%).

Для определения эффективности применения программы мы измеряли показатели уровня исследуемых ФР среди пациентов групп первичной и вторичной профилактики в начале исследования и через один год после начала профилактического консультирования (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Динамика уровня ФР в группе первичной профилактики за 2018–2019 гг. наблюдения

№	Факторы риска	2018 год M±σ*	2019 год M±σ*	P	Изм., %
1.	Систолическое АД, мм рт. ст.	142,03 ± 14,43	137,24 ± 12,70	<0,001	-3,4
2.	Диастолическое АД, мм рт. ст.	85,85 ± 8,64	83,63 ± 7,97	<0,001	-2,6
3.	Общий холестерин, ммоль/л	5,72 ± 1,06	5,48 ± 0,96	<0,001	-4,2
4.	Глюкоза, ммоль/л	5,43 ± 1,35	5,27 ± 1,16	<0,001	-2,9
5.	ИМТ, кг/кв. м	27,78 ± 4,31	27,58 ± 4,30	<0,001	-0,7
6.	СКФ, мл/мин	72,16 ± 15,70	72,54 ± 15,51	0,085	-
7.	Риск SCORE, %	4,68 ± 3,51	3,72 ± 2,98	<0,001	-20,5

Примечание. *М – среднее значение, σ – стандартное отклонение, P – статистическая значимость.

Таблица 3

Динамика уровня ФР в группе вторичной профилактики за 2018–2019 гг. наблюдения

№	Факторы риска	2018 год M±σ*	2019 год M±σ*	P	Изм., %
1.	Систолическое АД, мм рт. ст.	142,36 ± 15,15	138,79 ± 13,66	<0,001	-2,5
2.	Диастолическое АД, мм рт. ст.	84,92 ± 8,89	83,16 ± 8,35	<0,001	-2,1
3.	Общий холестерин, ммоль/л	5,52 ± 1,15	5,44 ± 1,07	<0,001	-1,4
4.	Глюкоза, ммоль/л	5,88 ± 1,74	5,75 ± 1,64	<0,001	-2,2
5.	ИМТ, кг/кв. м	28,62 ± 4,53	28,46 ± 4,54	0,088	-
6.	СКФ, мл/мин	72,16 ± 15,70	72,54 ± 15,51	0,085	-

Примечание. *М – среднее значение, σ – стандартное отклонение, Р – статистическая значимость.

Согласно таблице 2, в ГПП отмечено достоверное улучшение по средним значениям уровня всех ФР, за исключением СКФ (см. табл. 2). Среди пациентов ГВП за время наблюдения достоверно улучшились все показатели, кроме СКФ и ИМТ (табл. 3).

Выводы

1. В результате внедрения программы «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект» получена возможность проанализировать картину распространенности и динамики ФР БСК среди разных групп населения.

2. Преимуществом нами разработанной программы является способность объединять в одном информационном поле путем задействования ИИ пациента, врача и территориальные органы здравоохранения в целях управления негативными ФР пациентов с БСК.

3. Установлено, применение программы достоверно способствовало снижению уровня медико-биологических ФР, участвующих в возникновении и развитии БСК, кроме СКФ и ИМТ (в группе вторичной профилактики).

Список литературы

1. Енина Е.Н., Вайсман Д.Ш., Богданова Т.Г. Динамика заболеваемости болезнями системы кровообращения и охвата диспансерным наблюдением взрослого населения Российской Федерации в 2019–2023 гг. Социальные аспекты здоровья населения [сетевое издание] 2024; 70 (6):1. – URL: http://vestnik.mednet.ru/content/view/1694/30/lang,ru/. DOI: 10.21045/2071-5021-2024-70-6-1

2. Суслин С.А., Кирьякова О.В., Богатырева Г.П., Измалков Н.С, Садреева С.Х., Шешунова Р.А. Болезни системы кровообращения как современная проблема общественного здоровья // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2024; (1): 540-560. DOI: 10.2441212/2312-2935-2024-1-540-560.

3. Естественное движение населения Российской Федерации за 2024 год: статистический бюллетень / Росстат. – Москва, 2025. – Статистические данные доступны на официальном сайте: Росстат.

4. Программа для определения сочетанного влияния медицинских и социальных факторов риска на возникновение и развитие болезней системы кровообращения и оценки силы их действия: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681069, Российская Федерация / А.Ф. Галимзянов, Р.Н. Хайруллин, Р.З. Гарипов и др. – № 2024668634; заявл. 09.08.24; опубл. 04.09.24, Бюл. №9.

5. Филь. Т.С. Цифровые технологии и искусственный интеллект в профилактической медицине // Innova. – 2023. – Т.9 № 4. – С.31-36.

6. Thomas F Lüscher, Florian A Wenzl, Fabrizio D'Ascenzo et al. Artificial intelligence in cardiovascular medicine: clinical applications. Eur Heart J. 2024 Oct 21;45(40):4291-4304. doi: 10.1093/eurheartj/ehae465.

7. Романов С.В., Дзюбак С.А., Романова Т.Е. и др. Опыт внедрения информационной системы с технологиями искусственного интеллекта в работу поликлиники для оптимизации организации периодических медицинских осмотров // Менеджер здравоохранения. – 2024. – № 9. – С. 60-66.

8. Xiaoyu Sun, Yuzhe Yin, Qiwei Yang, Tianqi Huo. Artificial intelligence in cardiovascular diseases: diagnostic and therapeutic perspectives. Eur J Med Res. 2023 Jul 21;28(1):242. doi: 10.1186/s40001-023-01065-y.

9. Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения. Регистрационное удостоверение на медицинское изделие от 27.02.2019 №РЗН 2019/8170 на программное медицинское обеспечение «Платформа медицинского обслуживания для скрининга, профилактики и ухода за пациентами с хроническими заболеваниями».

10. 2021 Рекомендации ESC по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний в клинической практике. Российский кардиологический журнал. 2022;27(7):5155. doi:10.15829/1560-4071-2022-5155. EDN VQDNIK

УДК 616.831-005

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТРЫХ НАРУШЕНИЙ МОЗГОВОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО И СТАРЧЕСКОГО ВОЗРАСТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Галиуллин А.Н., д.м.н., профессор кафедры общественного здоровья и здравоохранения Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета;
ORCID: 0000-0002-1294-4055;
Юсупов А.Р., студент лечебного факультета Казанского ГМУ;
ORCID: 0009-0005-5625-4565;
Галиуллин Д.А., д.м.н., Институт фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета;
ORCID: 0000-0003-4957-0955;
Юсупова Л.А., д.м.н., профессор, заведующая кафедрой дерматовенерологии и косметологии, Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГАОУ ДПО РМАНПО Минздрава России;
ORCID: 0000-0001-8937-2158;
Гайфуллина Р.Ф., к.м.н., доцент Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-0922-5850

MATHEMATICAL MODELING AND PREDICTION OF ACUTE CEREBROVASCULAR ACCIDENTS IN ELDERLY AND SENILE PATIENTS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Galiullin A.N., MD, Professor of the Department of Public Health and Healthcare, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID: 0000-0002-1294-4055;
Yusupov A.R., 6th-year student of the Faculty of General Medicine, Kazan State Medical University;
ORCID: 0009-0005-5625-4565;
Galiullin D.A., MD, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID: 0000-0003-4957-0955;
Yusupova L.A., MD, Professor, Head of the Department of Dermatovenerology and Cosmetology, Kazan State Medical Academy – Branch Campus of the FSAEI FPE RMACPE MOH Russia;
ORCID: 0000-0001-8937-2158;
Gaifullina R.F., MD, Associate Professor, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-0922-5850

Аннотация

Острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) остаются одной из ведущих причин смертности, инвалидизации и снижения качества жизни у лиц пожилого и старческого возраста, при этом традиционные шкалы оценки риска обладают ограниченной чувствительностью в данной популяции и недостаточно учитывают социально-экономические детерминанты.

Разработка математической модели прогнозирования индивидуального риска ОНМК в когорте лиц пожилого и старческого возраста в целях управления этими заболеваниями.

Моделирование и прогнозирование ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста состояло из изучения распространенности ОНМК путем проведения профилактических медицинских осмотров и по данным медицинской документации 1138 лиц в возрасте от 60 до 90 лет, анализа распространенности факторов риска (ФР) у этих лиц, по формуле Байеса проводили расчеты нормированных интенсивных показателей (НИП), относительного риска (R), прогностического коэффициента (К). Разработана матрица индивидуального прогнозирования вероятностного возникновения ОНМК у этих лиц и программное обеспечение на основе искусственного интеллекта (ИИ) прогностической модели.

Исследованиями было установлено, что в возрасте 60–65 лет распространенность ОНМК составила 181±0,912 (у мужчин 19,6%, у женщин 17,2%), а в возрастной группе 86-90 лет этот показатель увеличился до 398±3,818 человек (у мужчин 36,4%, у женщин 40,8%). Показана зависимость ОНМК от социально-экономических условий проживания. Наиболее высокие показатели выявлены у лиц, проживающих в плохих жилищных условиях (74,7±1,289%), одиноко проживающих (68,2±1,382%), имеющих низкий уровень образования (45,4±1,478%). Для определения весовых прогностических коэффициентов риска развития ОНМК предложена матрица индивидуального прогнозирования вероятностного возникновения ОНМК, которую рекомендуется использовать для устранения ФР. Предложен алгоритм составления программы для ИИ по моделированию ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста

Ключевые слова: моделирование, прогнозирование, искусственный интеллект, острые нарушения мозгового кровообращения, лица пожилого и старческого возраста, факторы риска, индивидуальный риск

Abstract

Acute cerebrovascular accidents remain one of the leading causes of mortality, disability and reduced quality of life in elderly and senile individuals. Conventional risk assessment scores have limited sensitivity in this population and insufficiently account for socio-economic determinants.

Aim. To develop a mathematical model for predicting the individual risk of acute cerebrovascular accidents in a cohort of elderly people for the purpose of disease management.

Modelling and prediction of acute cerebrovascular accidents in elderly people comprised the study of disease prevalence through preventive medical examinations and analysis of medical records of 1,138 persons aged 60–90 years, assessment of the prevalence of risk factors in these individuals, and calculation of normalised intensive indicators, relative risk (R) and prognostic coefficient (K) using Bayes' formula. A matrix for individual prediction of the probabilistic occurrence of acute cerebrovascular accidents and artificial-intelligence-based software for the prognostic model were developed.

The prevalence of acute cerebrovascular accidents was found to be 181 ± 0.912 per 1,000 examined persons (19.6% in men and 17.2% in women) at the age of 60–65 years and increased to 398 ± 3.818 per 1,000 (36.4% in men and 40.8% in women) in the 86–90-year age group. Dependence of acute cerebrovascular accidents on socio-economic living conditions was demonstrated. The highest rates were observed in individuals living in poor housing conditions (74.7 ± 1.289%), living alone (68.2 ± 1.382%) and having a low educational level (45.4 ± 1.478%). A matrix for individual prediction of the probabilistic occurrence of acute cerebrovascular accidents was proposed to determine weighted prognostic risk coefficients and is recommended for use in the elimination of risk factors. An algorithm for developing artificial-intelligence software for modelling acute cerebrovascular accidents in elderly and senile individuals was also proposed.

Keywords: modeling, prediction, artificial intelligence, acute cerebrovascular accident, elderly people, risk factors, individual risk

Введение

Острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) остаются одной из ведущих причин смертности, инвалидизации и снижения качества жизни населения во всем мире, особенно среди лиц пожилого и старческого возраста. По данным эпидемиологических исследований, заболеваемость инсультом существенно возрастает с возрастом: после 60 лет риск увеличивается в несколько раз, а у лиц старше 75–80 лет достигает максимальных значений. В Российской Федерации ежегодно регистрируется более 450 тыс. новых случаев инсульта, при этом значительная доля приходится на лиц пожилого и старческого возраста. Смертность от ОНМК в РФ остается одной из наиболее высоких в мире [1]. Высокие потери государства на лечение и реабилитацию больных с ОНМК у этих лиц. Несмотря на многочисленные исследования по распространенности, смертности и инвалидности населения от ОНМК, внедрению новых методов лечения, диагностики и профилактики ОНМК среди населения не снижаются показатели [2]. Ряд авторов полагают, что отсутствие инструментов по выявлению, определению силы влияния, а также управлению факторами риска (ФР) приводят к возникновению и развитию ОНМК, сдерживает снижение распространенности этих заболеваний и смертности от них [3, 4].

Совокупная сумма прямых и непрямых расходов на одного больного инсультом доходит до 80 и более тысяч американских долларов [5]. Среди неблагоприятных ФР возраст выступает независимым и наиболее мощным фактором риска развития ОНМК. Накопление сосудистых, метаболических и социально-экономических факторов риска с возрастом приводит к резкому росту распространенности заболевания. Среди модифицируемых факторов особо выделяются артериальная гипертензия, сахарный диабет, нарушения ритма сердца, дислипидемия, а также неблагоприятные условия проживания, низкий уровень образования, одиночество и низкий подушевой доход [6]. Именно социально-экономические характеристики об-

раза жизни и условий проживания ассоциированы с распространенностью ОНМК среди лиц пожилого возраста. Более высокие показатели заболеваемости отмечаются среди пациентов, проживающих в неудовлетворительных жилищных условиях, одиноко проживающих, а также имеющих более низкий уровень образования [4].

Однако традиционные подходы к оценке риска (шкалы SCORE, CHA_2DS_2-VASc и др.) обладают ограниченной чувствительностью и специфичностью именно в популяции пожилых и старческих пациентов, поскольку не в полной мере учитывают комплексное взаимодействие клинических, социальных и поведенческих факторов. В связи с этим возрастает интерес к методам математического моделирования и искусственного интеллекта (ИИ), позволяющим строить индивидуальные прогностические модели. Формула Байеса, методы машинного обучения и гибридные модели демонстрируют высокую прогностическую точность при оценке риска инсульта [7].

Применение искусственного интеллекта в прогнозировании ОНМК активно развивается: создаются модели на основе клинических данных, лабораторных показателей, данных нейровизуализации и социально-демографических характеристик. Модели машинного обучения показывают AUC в диапазоне 0,80–0,95 в различных когортах, включая пожилых пациентов с артериальной гипертензией [8]. Это открывает перспективы для разработки простых, интерпретируемых и клинически применимых инструментов индивидуального прогнозирования, которые могут быть интегрированы в систему профилактических медицинских осмотров лиц старше 60 лет. Математическое моделирование на основе нормированных интенсивных показателей, относительного риска и прогностических коэффициентов (в том числе с использованием формулы Байеса) позволяет создать таблицы индивидуального риска и программные решения на базе ИИ.

Несмотря на значительный прогресс в области ИИ-прогнозирования инсульта, остаются недостаточно изученными вопросы моделирования риска ОНМК именно в когорте лиц пожилого и старческого возраста с учетом социально-экономических условий проживания. Большинство существующих моделей ориентированы либо на общую популяцию, либо на пациентов с уже развившимся инсультом (прогноз исхода), либо на отдельные клинические подгруппы (беременные, пациенты с фибрилляцией предсердий) [9]. В отечественной литературе имеются работы по математическому моделированию исходов ОНМК у пожилых, однако исследования, направленные на прогнозирование возникновения ОНМК с применением ИИ и учетом социально-экономических факторов в большой когорте лиц 60–90 лет, единичны [10].

Таким образом, разработка математической модели индивидуального прогнозирования риска ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста с последующим созданием программного обеспечения на основе искусственного интеллекта является актуальной научной и практической задачей, направленной на совершенствование первичной профилактики цереброваскулярных заболеваний, с помощью которой врач может осуществить раннее выявление возникновения ОНМК и провести необходимые как профилактические, так и диспансерные мероприятия.

Материалы и методы

Моделирование и прогнозирование ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста включало изучение распространенности заболевания путем проведения целевых профилактических медицинских осмотров и анализа медицинской документации 1138 лиц в возрасте от 60 до 90 лет.

Проведен анализ распространенности факторов риска (ФР) у обследованных. По формуле Байеса рассчитывались нормированные интенсивные показатели (НИП), относительный риск (R) и прогностический коэффициент (K). На основе полученных данных разработана матрица (таблица) индивидуального прогнозирования вероятностного возникновения ОНМК. Предложен алгоритм составления программы для искусственного интеллекта по моделированию риска ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста.

Статистическая обработка включала расчет средних значений, ошибок средних (m±%), оценку достоверности различий (p), анализ зависимости показателей от возраста, пола, места проживания и социально-экономических условий, силу влияния ФР на развитие ОНМК с помощью многофакторного дисперсионного анализа (η^2).

Результаты

По результатам анализа данных целевых профилактических медицинских осмотров установлена отчетливая возрастная динамика распространенности ОНМК среди обследованных лиц пожилого и старческого возраста. Минимальное значение показателя отмечено среди лиц в возрасте 60–65 лет и составило 181±0,912 случая на 1000 обследованных (p<0,01). Однако с увеличением возраста прослеживалась последовательная тенденция к росту распространенности ОНМК и в возрастной группе 86–90 лет показатель достиг 396±3,818 случая на 1000 обследованных (p<0,01) (рис. 1).

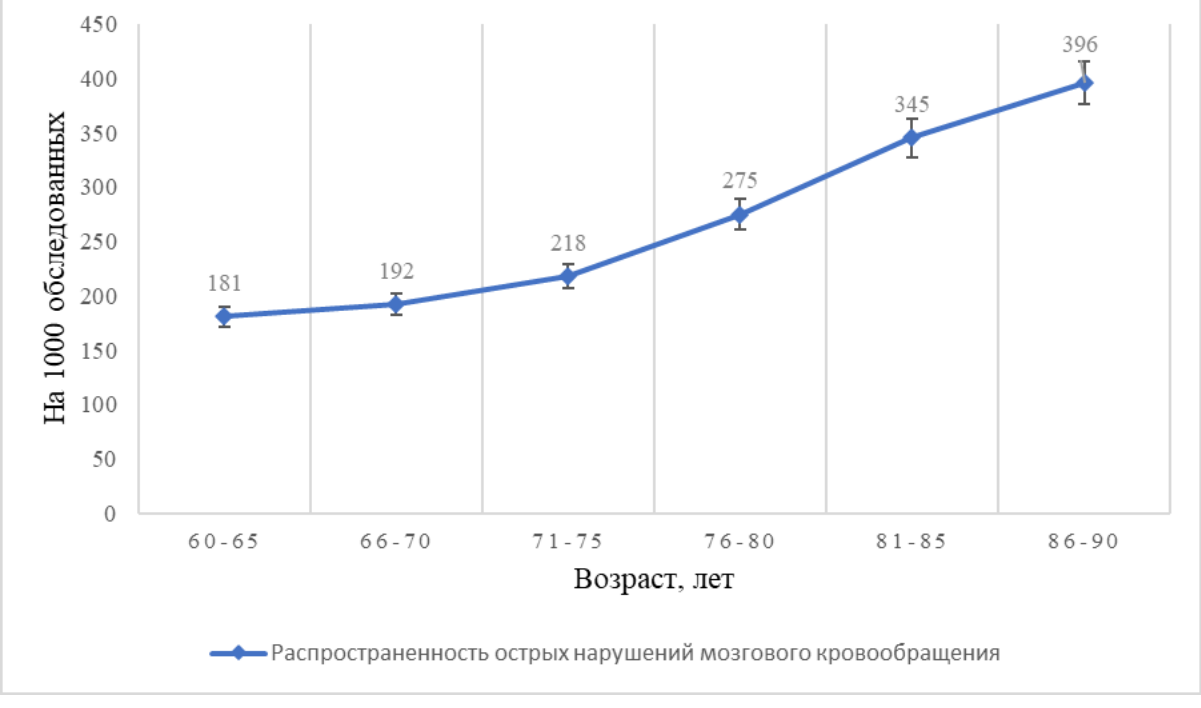


Рис. 1. Распространенность острых нарушений мозгового кровообращения у лиц пожилого и старческого возраста по результатам целевых профилактических медицинских осмотров (на 1000 обследованных)

Компаративный анализ распространенности ОНМК с учетом пола и возраста выявил у мужчин возрастное увеличение изучаемого показателя: с 19,6±1,530% (p<0,01) в группе 60–65 лет до 36,4±8,288% (p<0,01) среди лиц в возрасте 86–90 лет. У женщин соответствующие значения составили 17,2±1,133% (p<0,01) и увеличились до 40,8±9,622% (p<0,001) (рис. 2).

Кроме того, сравнительный анализ распространенности ОНМК с учетом места проживания не выявил статистически значимых различий между лицами пожилого и старческого возраста, проживающими в городской и сельской местности (p>0,05) (табл. 1).

Данные таблицы 1 свидетельствуют о наличии выраженной возрастной динамики заболеваемости ОНМК как среди городских, так и среди сельских жителей. В городской местности показатель увеличивался с 18,5±1,028% у лиц 60–65 лет до 39,8±4,823% в возрастной группе 86–90 лет (p<0,001). Аналогичная тенденция отмечалась среди сельских жителей: заболеваемость ОНМК возрастала с 16,5±1,964% до 39,3±6,253% соответственно (p<0,001). Вместе с тем проведенный анализ не установил статистически значимой связи между распространенностью ОНМК и местом проживания обследованных лиц.

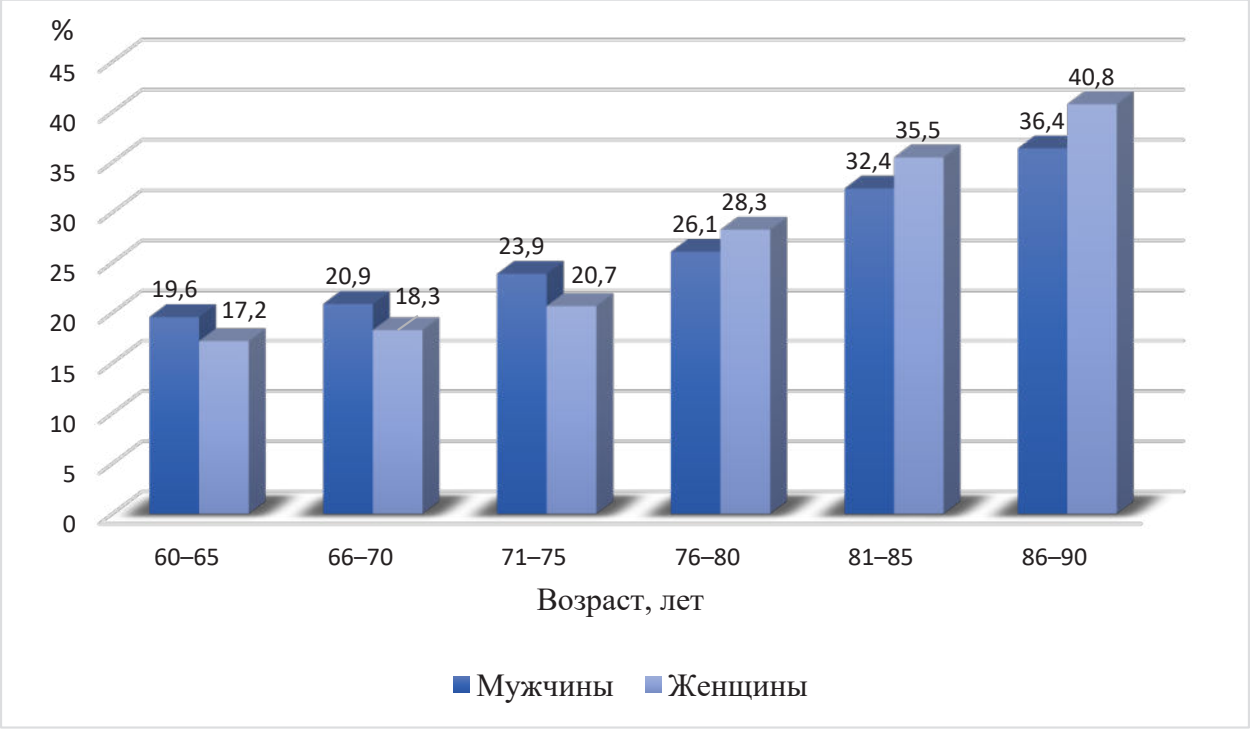


Рис. 2. Распространенность ОНМК среди лиц пожилого и старческого возраста с учетом возрастно-половой структуры по результатам целевых профилактических медицинских осмотров, %

Таблица 1

Возрастно-территориальные особенности распространенности ОНМК среди лиц пожилого и старческого возраста по данным целевых профилактических медицинских осмотров, %

Возраст, лет	Общее число обследованных	Число обследованных в городской местности	Число лиц с ОНМК	Процент (m±%)	Число обследованных в сельской местности	Число лиц с ОНМК	Процент (m±%)	Значение *p*
60–65	395	316	59	18,5±1,028	79	13	16,5±1,964	>0,05
66–70	285	224	44	19,8±1,252	61	11	17,2±2,284	>0,05
71–75	219	153	35	22,6±1,591	66	13	20,1±2,321	>0,05
76–80	132	85	24	27,9±2,288	47	13	26,9±3,045	>0,05
81–85	71	46	16	34,1±3,286	25	9	35,1±4,530	>0,05
86–90	36	23	9	39,8±4,823	13	5	39,3±6,253	>0,05
Итого	**1138**	**847**	**187**	**22,1±0,67**	**291**	**64**	**22,0±1,14**	>0,05

В ходе дальнейшего анализа распространенности ОНМК с учетом уровня подушевого дохода была установлена статистически значимая связь между распространенностью заболевания и материальным положением обследованных лиц (p<0,001). Так, среди лиц с низким уровнем подушевого дохода распространенность ОНМК составила 57,5±1,466%, тогда как в группе с высоким уровнем дохода данный показатель был достоверно ниже и составил 29,7±2,485% (p<0,001) (рис. 3).

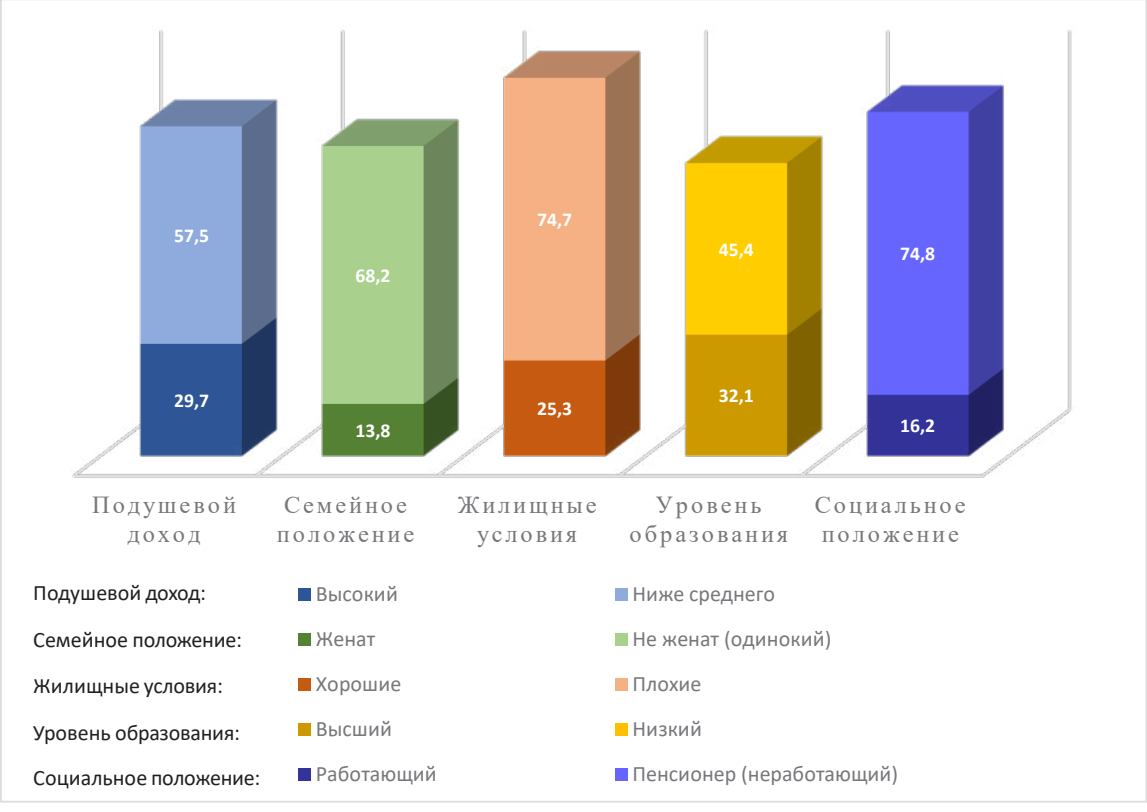


Рис. 3. Распространенность ОНМК среди лиц пожилого и старческого возраста в зависимости от условий проживания и данных целевых профилактических медицинских осмотров в РТ, %

Среди лиц, проживающих в неблагоприятных жилищных условиях, распространенность ОНМК достигала 74,7±1,289%, тогда как при благоприятных жилищных условиях данный показатель не превышал 25,3±1,289% (p<0,001). Аналогичная тенденция отмечалась в зависимости от семейного положения: среди лиц, состоящих в браке и проживающих в полной семье, распространенность ОНМК составила 13,8±1,023%, тогда как среди одиноко проживающих и не состоящих в браке лиц данный показатель возрастал до 68,2±1,382 %. При низком образовательном уровне показатель увеличивался до 45,4±1,477 % (p<0,001). Максимальные значения зарегистрированы у неработающих лиц старшего возраста – 74,5±1,327 %, в то время как у работающих он не превышал 16,2±1,195 % (p<0,001).

Таким образом, распространенность ОНМК в значительной степени связана с социально-бытовыми условиями жизни обследованных лиц. При этом наиболее высокие показатели отмечены среди лиц, проживающих в жилищных условиях – 74,7±1,289% (p<0,001), неработающих – 74,5±1,327% (p<0,001), а также одиноко проживающих – 68,2±1,382% (p<0,001). Полученные результаты свидетельствуют о значимой роли социально-экономических факторов, влияющих на формирование риска развития ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста.

Для качественной оценки влияния различных групп неблагоприятных факторов на формирование и развитие ОНМК проведен многофакторный дисперсионный анализ. Установлено, что наибольшую силу влияния на развитие ОНМК оказывают медико-биологические факторы (η^2=32,2; доля влияния 39,5 %; ранг 1). Далее в порядке убывания значимости располагаются производственные факторы (η^2=11,8; 14,4 %; ранг 2), недостатки медицинского обслуживания (η^2=11,2; 13,7 %; ранг 3), поведенческие факторы (η^2=10,4; 12,8 %; ранг 4), социально-гигиенические (η^2=9,4; 11,6 %; ранг 5) и факторы питания (η^2=6,4; 8,0 %; ранг 6) (таблица 2).

Таблица 2

Сила и иерархия влияния факторов риска на формирование и развитие острых нарушений мозгового кровообращения у лиц пожилого и старческого возраста

Группа изученных неблагоприятных факторов	Сила влияния факторов (η^2)	Доля влияния факторов (%)	Ранг
Медико-биологические	32,2	39,5	1
Социально-гигиенические	9,4	11,6	5
Производственные	11,8	14,4	2
Питания	6,4	8,0	6
Поведенческие	10,4	12,8	4
Недостатки медицинского обслуживания	11,2	13,7	3

На основе расчетов нормированных интенсивных показателей, относительного риска и прогностических коэффициентов по формуле Байеса разработана матрица индивидуального прогнозирования вероятностного возникновения ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста (табл. 3).

Таблица 3

Матрица индивидуального прогнозирования развития острых нарушений мозгового кровообращения у лиц пожилого и старческого возраста

Диапазон риска	Интервал риска	Категория риска
Наименьшая вероятность	0,41–0,99	Благоприятный прогноз
Средняя вероятность	0,99–1,9	Средняя вероятность
Наибольшая вероятность	1,9–3,1	Неблагоприятный прогноз

Разработанная матрица рекомендована для практического использования при проведении профилактических медицинских осмотров с целью выделения групп риска и последующего устранения модифицируемых факторов риска. На ее основе был сформирован алгоритм создания программного обеспечения с применением искусственного интеллекта для моделирования и индивидуального прогнозирования риска ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста.

Таким образом, использование технологий ИИ для математического моделирования и прогнозирования ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста создает возможность врачу комплексно оценить ФР, связанные с возникновением и течением заболевания. Результаты прогнозирования могут применяться при планировании индивидуализированных профилактических и диспансерных мероприятий, ориентированных на снижение показателей заболеваемости, смертности и инвалидности вследствие ОНМК, а также использоваться для определения их медицинской и экономической эффективности.

Выводы

1. Выявлено статистически значимое увеличение распространенности ОНМК с возрастом среди лиц пожилого и старческого возраста – от 181 случая на 1000 обследованных в возрасте 60–65 лет до 396 случаев на 1000 обследованных в возрасте 86–90 лет ($p<0,01$). В старческих возрастных группах распространенность ОНМК у женщин превышает аналогичный показатель у мужчин.



Рис. 4. Алгоритм индивидуального прогнозирования риска развития ОНМК с использованием программного обеспечения на основе искусственного интеллекта

2. Проживание в городской или сельской местности не оказывает статистически значимого влияния на распространенность ОНМК ($p > 0,05$). В то же время социально-экономические условия жизни являются существенными детерминантами риска: максимальные показатели заболеваемости выявлены у лиц, проживающих в плохих жилищных условиях (74,7 %), неработающих (74,5 %) и одиноко проживающих (68,2 %).

3. По результатам дисперсионного анализа установлено, что наибольший вклад в формирование риска ОНМК вносят медико-биологические факторы (доля влияния 39,5 %). Далее по убыванию значимости следуют производственные факторы, недостатки медицинского обслуживания, поведенческие, социально-гигиенические факторы и факторы питания.

4. На основании результатов расчета нормированных интенсивных показателей, относительного риска и прогностических коэффициентов сформирована матрица индивидуального прогнозирования возникновения ОНМК, которая позволяет выделить три градации риска: благоприятный прогноз (К = 0,41–0,99), средняя вероятность возникновения (К = 0,99–1,9) и неблагоприятный прогноз (К = 1,9–3,1).

5. Разработанный алгоритм программного обеспечения на основе искусственного интеллекта обеспечивает расчет индивидуального риска развития ОНМК у лиц пожилого и старческого возраста и позволяет формировать персонализированные профилактические рекомендации по коррекции модифицируемых факторов риска, а также дает возможность врачу предупредить развитие этих заболеваний, снизить инвалидность и смертность от ОНМК и оценить эффективность проводимых мероприятий.

Список литературы

1. Кумышев, А. Н. Клинико-организационные аспекты медицинской помощи при ишемическом инсульте / А. Н. Кумышев, Д. И. Кича, Р. С. Голощапов-Аксенов // Наука молодых – Eruditio Juvenium. – 2024. – № 4. DOI: 10.23888/HMJ2024124673-688.

2. Feigin, V. L. Pragmatic solutions to reduce the global burden of stroke: a World Stroke Organization–Lancet Neurology Commission / V. L. Feigin, M. O. Owolabi [et al.] // The Lancet Neurology. – 2023. – Vol. 22, № 11. – P. 1024–1066. DOI: 10.1016/S1474-4422(23)00277-6.

3. Ignatyeva, V. I. Social and economic burden of stroke in Russian Federation / V. I. Ignatyeva, I. A. Voznyuk, N. A. Shamalov, A. V. Reznik, A. A. Vinitskiy, E. V. Derkach // Zhurnal nevrologii i psikhiatrii imeni S.S. Korsakova. – 2023. – Vol. 123, № 8 (Vyp. 2). – P. 5–15. DOI: 10.17116/jnevro20231230825.

4. Галиуллин, Д. А. Научное обоснование медико-социальных мероприятий по управлению здоровьем лиц старше трудоспособного возраста с хроническими неинфекционными заболеваниями и оценка их эффективности : дис. ... д-ра мед. наук : 3.2.3 / Д. А. Галиуллин. – Казань, 2026. – 476 с.

5. Машин, В. В. Клинико-экономический анализ лечения ишемического инсульта у больных с артериальной гипертензией / В. В. Машин, Н. С. Барашков, Е. А. Пинкова, Р. М. Хайруллин // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2010. – № 3.

6. Котов, С. В. Распространенность инсульта в Российской Федерации (по данным опросов населения 2003–2023 гг.): обзор / С. В. Котов, Е. П. Какорина, И. В. Самородская // Коморбидная неврология. – 2026. – № 1. DOI: 10.62505/3034-185x-2026-3-1-21-31.

7. Zhao, J. Identifying risk factors and predicting stroke using Bayesian networks: Evidence from NHANES 2011-2020 / J. Zhao, M. Zhang, H. Wang // Digital Health. – 2026. – Vol. 12. DOI: 10.1177/20552076261434648.

8. Lyu, X. Development and validation of a machine learning-based model of ischemic stroke risk in the Chinese elderly hypertensive population / X. Lyu, J. Liu, Y. Gou, S. Sun, J. Hao, Y. Cui // VIEW. – 2024. – Vol. 5. DOI: 10.1002/VIW.20240059.

9. Баяндурян, Э. А. Использование искусственного интеллекта при прогнозировании острого нарушения мозгового кровообращения в акушерской практике / Э. А. Баяндурян, М. Д. Андреева // Акушерство и гинекология: Новости. Мнения. Обучения. – 2024. – № 2 (44). DOI: 10.33029/2303-9698-2024-12-2-7-13.

10. Флуд, В. В. Прогнозирование исходов острых нарушений мозгового кровообращения у лиц пожилого и старческого возраста : автореф. дис. … канд. мед. наук / В. В. Флуд. – Санкт-Петербург, 2008.

УДК 378.147:377.169.3:61

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СИМУЛЯЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ-МЕДИКОВ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Гарипова А.И., руководитель Центра профессиональных компетенций Государственного автономного профессионального образовательного учреждения «Казанский медицинский колледж» г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-6582-9773

THE IMPACT OF DIGITAL MULTIMODAL SIMULATION-BASED TRAINING ON THE DEVELOPMENT OF CLINICAL REASONING IN SECONDARY VOCATIONAL MEDICAL EDUCATION STUDENTS

Garipova A.I., Head of the Center for Professional Competencies, Kazan Medical College, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-6582-9773

Аннотация

Цифровая трансформация медицинского образования расширяет возможности формирования клинического мышления будущих специалистов сестринского дела за счёт последовательного включения различных форм симуляционного обучения. Цель исследования – оценить влияние цифровой мультимодальной симуляционной подготовки на формирование компонентов клинического мышления студентов медицинского среднего профессионального образования.

В исследовании приняли участие 30 студентов второго курса специальности «Сестринское дело» в возрасте 17–18 лет, распределённых на контрольную и экспериментальную группы по 15 человек. Обе группы прошли одинаковую теоретическую и практическую подготовку в рамках профессионального модуля «Оказание медицинской помощи, осуществление сестринского ухода и наблюдения за пациентами при заболеваниях и состояниях». В образовательную траекторию экспериментальной группы были включены иммерсивная виртуальная симуляция и высокореалистичная сценарная симуляция с последующей обратной связью.

Итоговая оценка проводилась в новом клиническом контексте с участием симулированного пациента. Студенты выполняли задание командами по три человека: пять команд по три человека контрольной и пять команд экспериментальной группы.

Для оценки использовалась авторская структурированная карта наблюдения, включающая компоненты сбора и интерпретации клинически значимой информации, определения приоритетной проблемы пациента, принятия клинически обоснованных решений, динамического наблюдения и повторной оценки состояния. Медиана итогового результата составила 17 из 20 баллов в экспериментальной группе и 13 из 20 баллов в контрольной. Медиана времени до распознавания ухудшения состояния составила соответственно 83 и 142 секунды, а времени до первого клинически обоснованного действия -121 и 196 секунд. В экспериментальной группе зарегистрировано 2 критических нежелательных события, в контрольной -5.

Полученные результаты демонстрируют более высокие показатели решения нового клинического сценария студентами, прошедшими цифровую мультимодальную симуляционную подготовку, что позволяет рассматривать последовательное сочетание виртуальной и высокореалистичной симуляции как перспективный подход к формированию компонентов клинического мышления студентов медицинского СПО.

Ключевые слова: клиническое мышление, симуляционное обучение, виртуальная реальность, высокореалистичная симуляция, сестринское дело, медицинское образование, сред-

нее профессиональное образование, цифровые образовательные технологии, симулированный пациент

Abstract

The digital transformation of medical education provides new opportunities for developing clinical reasoning in future nursing professionals through the sequential integration of different simulation-based learning modalities. The aim of the study was to assess the impact of digital multimodal simulation-based training on the development of clinical reasoning components among students in secondary vocational medical education. The study included 30 second-year Nursing students aged 17–18 years, divided into a control group and an experimental group of 15 students each. Both groups completed identical theoretical and practical training within the professional module "Provision of Medical Care, Nursing Care and Patient Monitoring in Diseases and Health Conditions." The educational pathway of the experimental group included immersive virtual simulation and high-fidelity scenario-based simulation followed by structured feedback. The final assessment was conducted in a new clinical context involving a simulated patient. Students performed the task in teams of three, resulting in five control and five experimental teams. Performance was assessed using a structured observation tool covering the collection and interpretation of clinically relevant information, identification of the patient's priority problem, clinically justified decision-making, dynamic monitoring, and reassessment of the patient's condition. The median final score was 17 out of 20 points in the experimental group compared with 13 out of 20 points in the control group. The median time to recognition of clinical deterioration was 83 and 142 seconds, respectively, while the median time to the first clinically justified action was 121 and 196 seconds. Two critical errors were recorded in the experimental group compared with five in the control group. The findings demonstrate better performance in a novel clinical scenario among students who completed digital multimodal simulation-based training and support the potential of sequential integration of virtual and high-fidelity simulation for developing clinical reasoning components in secondary vocational nursing education.

Keywords: clinical reasoning, simulation-based learning, virtual reality, high-fidelity simulation, nursing, medical education, secondary vocational education, digital educational technologies, simulated patient

Введение

Современная подготовка специалистов сестринского дела предполагает формирование не только знаний и устойчивых практических навыков, но и способности применять их в изменяющейся клинической ситуации. В профессиональной деятельности медицинской сестре/брату необходимо своевременно выявлять изменения состояния пациента, выделять клинически значимую информацию для лечения, интерпретировать показатели жизнедеятельности не только по назначению врача, но и в динамике, определять приоритетность действий согласно состоянию пациента и оценивать реакцию пациента на проводимые вмешательства. В связи с этим развитие компонентов клинического мышления является значимой составляющей профессиональной подготовки будущих специалистов среднего звена в практическом здравоохранении.

Традиционное практическое обучение позволяет последовательно осваивать технологии выполнения медицинских вмешательств, однако воспроизведение отдельных алгоритмов не всегда обеспечивает готовность обучающегося интегрировать полученные знания и умения при решении комплексной клинической задачи, возникающих на базах медицинских организаций во время производственной практики или в первые годы работы молодого специалиста. Симуляционное обучение создаёт условия, в которых студент может анализировать состояние пациента, принимать решения и наблюдать последствия собственных действий в контро-

лируемой и безопасной образовательной среде. По данным систематического обзора, высокореалистичная симуляция оказывает положительное влияние на ряд связанных с клиническим мышлением образовательных результатов у студентов сестринского профиля, включая клиническое рассуждение, критическое мышление и клиническое суждение [1].

Развитие цифровых образовательных технологий существенно расширяет возможности симуляционного обучения. Одним из перспективных направлений является использование виртуальной реальности, позволяющей погружать обучающегося в динамическую клиническую ситуацию и обеспечивать возможность безопасного принятия решений. Результаты систематического обзора и метаанализа свидетельствуют о положительном влиянии виртуальной симуляции на отдельные показатели клинического рассуждения студентов сестринского профиля [2]. Современные исследования также подчёркивают, что образовательный результат определяется не только характеристиками цифровой технологии, но и способом её педагогической интеграции в образовательный процесс [3].

Таким образом, цифровые технологии целесообразно рассматривать не как самостоятельную альтернативу традиционной подготовке, а как компоненты последовательной образовательной траектории. В настоящем исследовании цифровая мультимодальная симуляционная подготовка включала переход от теоретического освоения материала и отработки отдельных практических навыков к иммерсивной виртуальной симуляции и далее к высокореалистичной сценарной симуляции. Такой подход соответствует современным принципам симуляционного обучения, предусматривающим определение измеримых образовательных результатов, целенаправленный дизайн симуляционного опыта, фасилитацию и организованный процесс последующего разбора [4].

Особый интерес представляет оценка эффективности данного подхода в системе среднего профессионального медицинского образования, в том числе способности обучающихся применять сформированные знания и умения при решении новой клинической ситуации.

Методика

Исследование проведено на базе Государственного автономного профессионального образовательного учреждения «Казанский медицинский колледж». В исследовании приняли участие 30 студентов второго курса специальности 34.02.01 «Сестринское дело» в возрасте 17–18 лет, осваивающих профессиональный модуль «Оказание медицинской помощи, осуществление сестринского ухода и наблюдения за пациентами при заболеваниях и состояниях». Студенты были распределены на контрольную и экспериментальную группы по 15 человек.

Исследование имело сравнительный квазиэкспериментальный дизайн. Обе группы проходили одинаковую базовую подготовку по теме «Сестринский уход при бронхиальной астме», включавшую теоретическое обучение и 18 часов практических занятий. В рамках практической подготовки студенты осваивали оценку состояния пациента, измерение и интерпретацию показателей жизнедеятельности, применение пикфлоуметра, дозированного ингалятора и небулайзера. В качестве дополнительных образовательных материалов использовались видеолекции и видеодемонстрации выполнения практических навыков.

После завершения одинаковой теоретической и практической подготовки студенты обеих групп проходили дополнительный 12-часовой этап обучения, направленный на применение полученных знаний и практических умений при решении клинических ситуаций. Таким образом, общая продолжительность образовательной подготовки в контрольной и экспериментальной группах была сопоставимой.

В контрольной группе 12-часовой этап проводился в традиционном формате и включал решение и разбор ситуационных клинических задач по теме «Сестринский уход при бронхиальной астме». Обучающиеся анализировали представленные данные о состоянии пациента, выделяли клинически значимую информацию, определяли приоритетные проблемы, выбирали последовательность действий медицинской сестры и оценивали предполагаемую динамику состояния пациента.

В экспериментальной группе аналогичный по продолжительности 12-часовой этап был реализован с использованием цифровой мультимодальной симуляционной подготовки. Он включал иммерсивную виртуальную симуляцию с использованием программного продукта Nursing и оборудования виртуальной реальности ООО «МЕДВИАР», а также высокореалистичную сценарную симуляцию с использованием робота-симулятора пациента LISA ALS («Эйдос-Медицина»). В ходе симуляционных сценариев студенты проводили оценку состояния пациента, собирали анамнез, интерпретировали клинические данные, определяли приоритетность действий, выполняли необходимые вмешательства в пределах профессиональных компетенций и оценивали динамику состояния пациента. После завершения сценариев проводился структурированный разбор результатов.

Таким образом, обе группы имели одинаковую продолжительность подготовки и работали с клиническими задачами сопоставимой тематической направленности; основным различием являлся формат организации 12-часового этапа обучения: анализ ситуационных задач в контрольной группе и цифровая мультимодальная симуляционная подготовка в экспериментальной. Последовательное сочетание виртуальной и высокореалистичной симуляции ранее исследовалось как подход к развитию клинического суждения студентов сестринского профиля [5].

Для итоговой оценки студенты контрольной и экспериментальной групп были объединены в команды по три человека – по пять команд в каждой группе. Всем командам предъявлялся единый ранее не использовавшийся стандартизированный клинический сценарий с участием симулированного пациента. Использование иной симуляционной модальности на этапе итоговой оценки позволяло оценить применение сформированных способов клинического рассуждения в новом контексте, а не воспроизведение ранее освоенного цифрового сценария.

Оценивание проводилось с использованием авторской структурированной карты наблюдения, включавшей 10 компонентов: сбор клинически значимой информации, первичную оценку состояния пациента, выявление значимых отклонений, интерпретацию полученных данных, определение приоритетной проблемы, выбор клинически обоснованных действий, последовательность действий, динамическое наблюдение, повторную оценку состояния и коррекцию действий с учётом клинической динамики. Каждый компонент оценивался от 0 до 2 баллов. Максимальная суммарная оценка составляла 20 баллов.

Дополнительно по видеозаписям фиксировались время от начала сценария до распознавания ухудшения состояния пациента, время до первого клинически обоснованного действия и количество критических ошибок. К критическим относили ошибки, способные существенно повлиять на своевременность и безопасность оказания помощи.

В связи с командным форматом итогового испытания единицей анализа являлась команда (n=10). Для количественных показателей с учётом малого числа наблюдений использовались медианные значения. Сравнение проводилось между пятью командами по три человека контрольной и пятью командами экспериментальной группы.

Результаты и обсуждение

По результатам итогового стандартизированного клинического сценария были выявлены различия между контрольной и экспериментальной группами по основным оцениваемым показателям. Медиана суммарной оценки по структурированной карте наблюдения составила 17 из 20 баллов в экспериментальной группе и 13 из 20 баллов в контрольной группе.

Различия отмечались и во временных характеристиках решения клинической задачи. Медиана времени до распознавания ухудшения состояния пациента составила 83 секунды в экспериментальной группе и 142 секунды в контрольной. Таким образом, экспериментальные команды распознавали клинически значимое ухудшение на 59 секунд раньше. Медиана времени до первого клинически обоснованного действия составила соответственно 121 и 196 секунд, разница между группами –75 секунд.

Таблица 1

Результаты выполнения итогового клинического сценария

Показатель	Контрольная группа (n=5 команд)	Экспериментальная группа (n=5 команд)
Итоговая оценка, Me, баллы	13	17
Время до распознавания ухудшения, Me	142 сек.	83 сек.
Время до первого клинически обоснованного действия, Me	196 сек.	121 сек.
Критические ошибки, абс. число	5	2

При анализе безопасности выполнения сценария в контрольной группе зарегистрировано 5 критических ошибок, в экспериментальной – 2. К данной категории относили отсутствие или несвоевременное распознавание ухудшения состояния пациента, игнорирование клинически значимых изменений показателей жизнедеятельности, несвоевременную эскалацию помощи и отсутствие необходимых действий при отрицательной динамике состояния.

Совокупность полученных результатов представляет больший интерес, чем изменение одного итогового показателя. Более высокий суммарный балл экспериментальных команд сочетался с более ранним распознаванием ухудшения состояния, более быстрым переходом к клинически обоснованным действиям и меньшим количеством критических ошибок. Выявленные различия могут свидетельствовать о более выраженной способности обучающихся экспериментальной группы интегрировать полученную клиническую информацию, определять приоритеты и переходить от оценки состояния к действию.

Возможным объяснением полученных результатов является последовательное усложнение образовательной среды. После теоретической подготовки и освоения отдельных практических навыков студенты экспериментальной группы переходили к работе с целостным клиническим случаем в виртуальной среде, а затем – к высокореалистичной сценарной симуляции с динамическим изменением состояния пациента. Таким образом, обучающемуся требовалось не только воспроизводить ранее освоенные алгоритмы, но и интегрировать знания и практические умения при решении клинической задачи.

Полученные результаты согласуются с данными J.J.M. Sim и соавт., согласно которым виртуальная симуляция может способствовать развитию клинического рассуждения и применению знаний при решении клинических ситуаций [2]. Сходные результаты представлены в систематическом обзоре F.D. Alshehri и соавт., где высокореалистичная симуляция рассматривалась в контексте развития клинического рассуждения, критического мышления, способности решать проблемы и клинического суждения [1].

Особое значение для настоящего исследования имеет последовательность различных образовательных модальностей. Ранее показано, что интеграция виртуальной и очной высокореалистичной симуляции может способствовать развитию отдельных компонентов клинического суждения студентов специальности «Сестринское дело» [5]. В настоящем исследовании дополнительным элементом являлось выполнение итогового задания с симулированным пациентом, то есть в модальности, отличной от использованной при цифровой подготовке. Это позволило оценивать применение сформированных способов клинического рассуждения в новой ситуации.

При интерпретации результатов необходимо учитывать ограничения исследования. В нём приняли участие 30 студентов одного образовательного учреждения, а итоговое испы-

тание выполнялось командами по три человека, вследствие чего единицей анализа являлась команда (n=5 в каждой группе). Кроме того, оценивался непосредственный образовательный результат без отсроченного контроля. Полученные данные поэтому характеризуют исследованную выборку и требуют дальнейшего изучения на более крупных выборках и при проведении отсроченной оценки.

Выводы

1. Цифровая мультимодальная симуляционная подготовка, последовательно объединяющая виртуальную и высокореалистичную симуляцию, сопровождалась более высокими показателями сформированности компонентов клинического мышления студентов специальности «Сестринское дело»: медиана итоговой оценки составила 17 из 20 баллов в экспериментальной группе и 13 из 20 баллов в контрольной.

2. Команды экспериментальной группы быстрее распознавали клинически значимое ухудшение состояния пациента: медиана времени составила 83 секунды против 142 секунд в контрольной группе. Медиана времени до первого клинически обоснованного действия составила 121 и 196 секунд соответственно.

3. При выполнении итогового сценария в экспериментальной группе зарегистрировано меньше критических ошибок -2 против 5 в контрольной группе.

4. Использование ранее не отрабатывавшегося сценария с симулированным пациентом позволило оценить применение сформированных компонентов клинического мышления в новой клинической и симуляционной ситуации, отличающейся от среды, использованной в процессе подготовки.

5. Полученные результаты позволяют рассматривать последовательную модель «теоретическая подготовка – практическая подготовка – виртуальная клиническая симуляция – высокореалистичная сценарная симуляция – решение нового клинического случая» как перспективный подход к организации профессиональной подготовки студентов медицинского СПО.

Список литературы

1. Alshehri F.D., Jones S., Harrison D. The effectiveness of high-fidelity simulation on undergraduate nursing students' clinical reasoning-related skills: A systematic review // Nurse Education Today. 2023. Vol. 121. Art. 105679. DOI: 10.1016/j.nedt.2022.105679.

2. Sim J.J.M., Rusli K.D.B., Seah B., Levett-Jones T., Lau Y., Liaw S.Y. Virtual Simulation to Enhance Clinical Reasoning in Nursing: A Systematic Review and Meta-analysis // Clinical Simulation in Nursing. 2022. Vol. 69. P. 26–39. DOI: 10.1016/j.ecns.2022.05.006.

3. Hou M., Lu Y., Liu Y., Luo W., Xue H., Yuan H., Zhang X. The impact of virtual reality applied in nurse education on students' clinical thinking: A systematic review // Nurse Education Today. 2025. Vol. 146. Art. 106553. DOI: 10.1016/j.nedt.2024.106553.

4. INACSL Standards Committee, Persico L., Wilson-Keates B., DiGregorio H., Decker S., Xavier N. Preamble: Grounded in Excellence: The Cornerstone Healthcare Simulation Standards of Best Practice® // Clinical Simulation in Nursing. 2025. Vol. 105. Art. 101774. DOI: 10.1016/j.ecns.2025.101774.

5. Yang J., Zhou W.J., Zhou S.C. et al. Integrated virtual simulation and face-to-face simulation for clinical judgment training among undergraduate nursing students: a mixed-methods study // BMC Medical Education. 2024. Vol. 24. Art. 32. DOI: 10.1186/s12909-023-04988-6.

УДК 614.2:004

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Гафиятуллин Б.Р., студент;
E-mail: bulat12345678@inbox.ru;
Субаева А.К., д.э.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
E-mail: subaeva.ak@mail.ru

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE HEALTHCARE SYSTEM: REGIONAL ASPECTS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Gafiyatullin B.R., student;
E-mail: bulat12345678@inbox.ru;
Subaeva A.K., Doctor of Economics, Associate Professor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
E-mail: subaeva.ak@mail.ru

Аннотация

В условиях стремительного развития информационных технологий цифровизация здравоохранения становится ключевым фактором повышения доступности, качества и эффективности медицинской помощи. Внедрение систем искусственного интеллекта, телемедицины, интернета вещей (IoT) и анализа больших данных (Big Data) позволяет трансформировать традиционные модели оказания услуг, переходя к персонализированной и предиктивной медицине. В статье рассматриваются современные тренды цифровой трансформации медицинской отрасли в Российской Федерации с акцентом на региональный уровень управления. Проанализированы основные барьеры (кадровый дефицит, устаревшая ИТ-инфраструктура, нормативно-правовые ограничения) и предложены механизмы их преодоления, основанные на опыте Республики Татарстан. Особое внимание уделено интеграции цифровых платформ как инструменту повышения управляемости медицинских организаций и улучшения эпидемиологического мониторинга.

Ключевые слова: цифровое здравоохранение, телемедицина, искусственный интеллект, медицинские информационные системы, региональное управление, большие данные, персонализированная медицина

Abstract

In the context of the rapid development of information technology, digitalization of healthcare is becoming a key factor in increasing the availability, quality and efficiency of medical care. The implementation of artificial intelligence systems, telemedicine, the Internet of Things (IoT), and Big Data analytics makes it possible to transform traditional service delivery models, shifting towards personalized and predictive medicine. The article examines current trends in the digital transformation of healthcare sector in the Russian Federation with a focus on the regional level of governance. The main barriers (staff shortage, outdated IT infrastructure, and regulatory restrictions) have been analyzed, and mechanisms ~~for~~ to overcome them have been proposed, based on the experience of the Republic of Tatarstan. Particular attention has been paid to the integration of digital platforms as a tool for improving the manageability of medical organizations and improving epidemiological monitoring.

Keywords: digital healthcare, telemedicine, artificial intelligence, medical information systems, regional management, Big Data, and personalized medicine

В последние годы цифровая трансформация проникает во все сферы жизнедеятельности общества, и медицина здесь не является исключением. Традиционная модель здравоохранения, ориентированная на оказание реактивной (то есть по факту заболевания) помощи, уступает место предиктивной и профилактической парадигме. Инструменты цифровой экономики – от носимых датчиков до сложных нейросетей для интерпретации снимков МРТ – открывают беспрецедентные возможности для улучшения показателей общественного здоровья, повышения продолжительности жизни и снижения нагрузки на медицинский персонал [1].

Под цифровым здравоохранением (e-Health) понимается комплексное использование информационно-коммуникационных технологий для управления медицинскими данными, клиническими процессами, научными исследованиями и непрерывным образованием врачей. Ключевыми элементами этой экосистемы являются: единые государственные информационные системы (далее – ЕГИСЗ), телемедицинские консультации, автоматизированные рабочие места врачей, системы поддержки принятия врачебных решений (далее – СППВР) на основе ИИ, а также порталы пациентов для записи и получения электронных рецептов [2].

Теоретические основы применения ИКТ в медицине закладывались еще в конце XX века. В России активное развитие данного направления связано с реализацией национального проекта «Здравоохранение» и стратегии цифровой трансформации, утвержденной Минздравом РФ. Исследователи сходятся во мнении, что экономическая и социальная эффективность цифровизации заключается в снижении временных затрат пациентов, уменьшении числа врачебных ошибок за счет алгоритмической поддержки, а также в оптимизации логистики лекарственных средств [3].

Однако переход к «умной» медицине сталкивается с рядом системных проблем. На региональном уровне основной барьер – это разрозненность медицинских информационных систем (далее – МИС) и отсутствие единых стандартов обмена данными. Многие лечебно-профилактические учреждения, особенно в сельской местности, испытывают дефицит высокоскоростного Интернета и современного компьютерного оборудования. Кроме того, сохраняется цифровая грамотность врачей, что требует пересмотра образовательных программ медицинских вузов и внедрения курсов повышения квалификации по медицинской информатике [4].

На глобальном уровне цифровые инструменты выступают фундаментом для эволюции здравоохранения. Анализ больших данных (Big Data) позволяет агрегировать информацию о заболеваемости, эффективности лекарств и генетической предрасположенности населения, что критически важно для управления эпидемическими процессами – опыт борьбы с COVID-19 это наглядно подтвердил. Мировой рынок цифрового здоровья (Digital Health) оценивается в сотни миллиардов долларов с устойчивым ежегодным ростом.

В Российской Федерации, согласно ведомственной программе цифровой трансформации, внедряются федеральные сервисы, такие как «ЕМИАС» (в Москве) и «Медицинская информационная система» в регионах. Государство выступает основным интегратором, создавая защищенную сеть передачи данных (ЗСТ) и обеспечивая взаимодействие между страховыми компаниями, аптеками и стационарами.

Данные, представленные в табл. 1, отражают спектр внедрения цифровых технологий в ключевых областях медицины (диагностика, лечение и управление).

Потенциальные эффекты от внедрения этих решений в практику здравоохранения представлены в табл. 2.

Таблица 1

Анализ применения цифровых технологий в системе здравоохранения

Цифровые технологии	Диагностика и лечение	Управление и мониторинг
Телемедицина и онлайн-консультации	активное применение	ограниченное применение
Системы поддержки врачебных решений (ИИ)	активное применение	ограниченное применение
Единая государственная система (ЕГИСЗ)	активное применение	активное применение
Носимые устройства и IoT-датчики	активное применение	активное применение
Автоматизированные рабочие места врачей	ограниченное применение	активное применение
Платформы для записи и электронных рецептов	ограниченное применение	активное применение
Анализ генетических данных (NGS)	активное применение	ограниченное применение
Роботизированная хирургия (Da Vinci и др.)	активное применение	ограниченное применение

Таблица 2

Эффекты от реализации инновационных решений в области медицинских цифровых технологий

Инновационные решения	Эффект от реализации технологии
Алгоритмы ИИ для анализа КТ/МРТ	Сокращение времени интерпретации снимков на 30%, снижение пропусков патологий до 15%
Телемедицинские консультации	Повышение доступности специалистов для сельских жителей, сокращение очередей до 25%
Автоматизированный мониторинг пациентов с ХНИЗ (носимые датчики)	Снижение числа экстренных госпитализаций на 20%, экономия бюджета ФОМС
«Цифровой двойник» пациента (симуляционное моделирование)	Оптимизация схем лечения, повышение точности хирургического планирования
Цифровой документооборот и электронная история болезни	Экономия времени врача до 40% за счет снижения бумажной работы

Основные препятствия на пути внедрения этих технологий включают: высокую стоимость лицензионного ПО и оборудования (особенно отечественного производства в условиях импортозамещения), риски кибербезопасности и утечки персональных данных, а также недостаток системных интеграторов, способных осуществить бесшовную миграцию с «устаревших» систем. Острой проблемой остается дефицит ИТ-специалистов со знанием медицинской предметной области.

В Республике Татарстан цифровая трансформация медицины набирает высокие темпы. Регион входит в число лидеров ПФО по уровню цифровизации государственных услуг. Стратегия «Цифровой Татарстан» предусматривает создание единого медицинского облака, интеграцию всех медучреждений республики в общую сеть и внедрение республиканского портала здравоохранения. Статистика подтверждает положительную динамику: рост удовлетворенно-

сти пациентов качеством сервисов, сокращение времени ожидания приема и улучшение показателей выявляемости заболеваний на ранних стадиях за счет скринингов с применением ИИ (например, в онкологии и офтальмологии).

С учетом ключевой роли отрасли в обеспечении национальной безопасности и сохранения трудового потенциала, необходима комплексная поддержка цифровых инициатив со стороны государства:

1. Активизация государственной поддержки: разработка региональных субсидий для закупки отечественного медицинского ПО и телемедицинского оборудования, упрощение процедур регистрации цифровых медицинских изделий;

2. Усиление регионального управления: формирование единого цифрового контура (в рамках ЕГИСЗ) для бесшовного обмена данными между поликлиниками, стационарами и скорой помощью;

3. Поощрение инноваций: создание на базе медицинских кластеров «песочниц» для тестирования алгоритмов ИИ перед их массовым внедрением.

В связи с этим концепция платформенного развития медицинской отрасли становится приоритетной. Технологии машинного обучения открывают возможности для создания многофункциональных сервисов, способных предсказывать эпидемиологические вспышки, оптимизировать график работы персонала и страховых запасов лекарств, что делает их стратегическим активом для инвесторов.

Список литературы

1. Гусев, А. В. Цифровая трансформация здравоохранения: состояние, проблемы и пути решения / А. В. Гусев, Ф. А. Романов // Менеджер здравоохранения. – 2022. – № 6. – С. 12-19.

2. Швецкий, А. В. Системы поддержки принятия врачебных решений на основе искусственного интеллекта: обзор мирового опыта / А. В. Швецкий // Врач и информационные технологии. – 2023. – № 2. – С. 45-54.

3. Омельяновский, В. В. Экономическая эффективность телемедицинских технологий в региональном здравоохранении / В. В. Омельяновский, Н. В. Сухрада // Медицинские технологии. Оценка и выбор. – 2021. – № 1. – С. 22-27.

4. Решетников, В. А. Большие данные в здравоохранении: этические и правовые аспекты / В. А. Решетников, Н. Н. Ерофеева // Социология медицины. – 2024. – № 1. – С. 7-12.

УДК 616.98:57.042:004.89

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА «PIASTRES» ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО И ВРЕМЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ ОЧАГОВ ОСОБО ОПАСНЫХ ИНФЕКЦИЙ

Дубянский В.М., д.б.н., заведующий. отделом эпизоотологического мониторинга и прогнозирования ФКУЗ «Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора», г. Ставрополь, Россия;
ORCID: 0000-0003-3817-2513

APPLICATION OF THE SPECIALIZED ARTIFICIAL INTELLIGENCE «PIASTRES» FOR SPATIAL AND TEMPORAL PREDICTION OF EPIZOOTIC ACTIVITY IN NATURAL FOCI OF HIGHLY DANGEROUS INFECTIONS

Dubianskii V.M., D.Sc. (Biology), Head of the Department of Epizootiological Monitoring and Forecasting, Stavropol Plague Control Research Institute of Rospotrebnadzor, Stavropol, Russia;
ORCID: 0000-0003-3817-2513

Аннотация

Представлена специализированная система искусственного интеллекта «Piastres» для пространственного и временного анализа и прогнозирования эпизоотической активности в природных очагах особо опасных инфекций. Методология основана на информационно-статистическом моделировании с использованием KL-дивергенции, оптимального биннинга с автоматическим выбором метода, BIC-штрафа за сложность и бутстреп-доверительных интервалов. Система генерирует интерпретируемые правила IF-THEN для растровых калькуляторов ГИС, карты эпизоотического риска и таблицы с количественным обоснованием. Полевая апробация показала возможность определения естественных границ между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы, а также долгосрочное прогнозирование активности очагов туляремии на территории Армении до 2050 г. Открытый стек Python/QGIS обеспечивает технологическую независимость и масштабируемость для учреждений Роспотребнадзора.

Ключевые слова: искусственный интеллект, природные очаги, особо опасные инфекции, чума, туляремия, KL-дивергенция, пространственное прогнозирование, экологическая ниша, эпизоотологический мониторинг, цифровое здравоохранение, ГИС

Abstract

A specialized artificial intelligence system «Piastres» for spatial and temporal forecasting of epizootic activity in natural foci of especially dangerous infections is presented. The methodology is based on information-statistical modeling using KL-divergence, optimal binning with automatic method selection, BIC complexity penalty, and bootstrap confidence intervals. The system generates interpretable IF–THEN rules for GIS raster calculators, epizootic risk maps, and quantitative justification tables. Field validation demonstrated the determination of natural boundaries between the Caspian sandy and Dagestan plain-foothill plague foci, as well as long-term forecasting of tularemia foci activity in Armenia through 2050. The open-source Python/QGIS stack ensures technological sovereignty and scalability for Rospotrebnadzor institutions.

Keywords: artificial intelligence, natural foci, especially dangerous infections, plague, tularemia, KL-divergence, spatial forecasting, ecological niche, epizootic monitoring, digital health, GIS

Введение

На территории Юга России зарегистрированы природные очаги многих зоонозных, в том числе особо опасных инфекций [1]. Заболевания людей тесно связаны с эпизоотической активностью этих очагов. Для проведения профилактических мероприятий требуется постоянный мониторинг и прогнозирование состояния эпизоотических компонентов очага (носителей, переносчиков и возбудителя инфекции). Для обнаружения эпизоотии группой обследования требуется совпадение трех условий: обнаружение места протекания эпизоотии, времени протекания эпизоотии и забора зараженных проб полевого материала. Обследование на основе эмпирического опыта, накопленного за десятилетия обследования природных очагов, с каждым годом становится все менее эффективным, так как из-за климатических и антропогенных изменений границы, и пространственная структура очагов быстро меняются. Отсюда следует критическая необходимость пространственного и временного прогнозирования активности природных очагов особо опасных инфекций.

LLM модели, присутствующие на рынке, «не понимают» специфику эпизоотологии особо-опасных природно-очаговых инфекций, не работают с пространственно-растровыми данными климатических и ландшафтных предикторов.

Стандартные LM модели (Random Forest, градиентный бустинг) не объясняют решений, плохо интерпретируемы для специалистов.

Классические статистические методы – корреляции, регрессии – не учитывают нелинейные взаимодействия предикторов, дают размытые оценки при редких эпизоотических проявлениях.

Сложности в использовании MaxEnt и подобных моделей подробно указаны в [2].

Таким образом, существует очевидный пробел – отсутствие специализированного, интерпретируемого инструмента для пространственно-временного анализа и прогнозирования эпизоотической активности, работающего в условиях редких находок и большого числа разнородных предикторов.

Цель настоящей работы – представить архитектуру и результаты апробации специализированного программного комплекса искусственного интеллекта «Piastres» (далее – ИИ «Piastres»), разработанного для пространственных эпидемиологических и экологических исследований.

Материалы и методы

Для построения прогнозных моделей использовались следующие типы данных:

Растровые данные (географические информационные системы): высота, уклон, экспозиция склонов, геология, почвенный покров, NDVI (нормализованный вегетационный индекс), температурные аномалии и другие производные показатели, полученные из открытых баз данных в интернете (WordClim, Copernicus, NOAA).

Точечные данные: места положительных бактериологических проб, обнаружения маркеров возбудителя, данные учётов численности носителей и переносчиков, полученные из архива ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора.

При разработке математических методов пространственного и временного прогнозирования важно понимать, что исходные учетные данные имеют большую ошибку, по практическому опыту автора 20% – 50%, так как учеты численности носителей и переносчиков возбудителей проводятся без инструментальных средств. Отсутствует нормальность распределения данных, много взаимно коррелированных факторов, отбрасывать которые, однако, не рекомендуется [3]. При этом изменения факторов, биотических и абиотических, как правило, имеют невысокую корреляционную связь с объектами исследования – сочленами паразитарной системы особо опасных природно-очаговых инфекций.

Поэтому в основу классификации для программы искусственного интеллекта в основу были положены разработки Е.В. Гублера, [4], М.А. Дубянского и др. [5].

Программный комплекс «Piastres» разработан на языке Python 3.11 с использованием библиотек с открытым исходным кодом: pandas (обработка таблиц), numpy (векторные вычисления), scipy.stats (непараметрические критерии: Манна–Уитни, корреляция Спирмена), rasterio (работа с георастрами), matplotlib (визуализация). Для геопространственной обработки использован свободно распространяемый кроссплатформенный пакет QGIS 3.40 с плагином «Point Sampling Tool» https://github.com/borysiasty/pointsamplingtool.

Архитектура системы построена по модульному принципу и не требует проприетарных лицензий, что обеспечивает технологический суверенитет и возможность тиражирования в любых подразделениях Роспотребнадзора.

Для весов нейросети используется физически осмысленная мера, основанная на KL-дивергенции (дивергенции Кульбака–Лейблера). KL-дивергенция измеряет различие между распределением значений предиктора в «положительных» (точки обнаружения возбудителя) и «отрицательных» (фоновых) выборках.

Интерпретация показателей:

ПК (в данном случае, показатель контраста) = +10 дБ – вероятность обнаружения возбудителя в 10 раз выше фона.

ПК = –15 дБ – вероятность в 30 раз ниже фона (зона неблагоприятна).

Суммарная информативность предиктора позволяет ранжировать факторы по их вкладу в модель.

KL-дивергенция – измеряется в натах и показывает статистическую значимость разделения выборок.

Архитектура системы

1.Вход: Разнородные данные

– Растры: высота, уклон, экспозиция склонов, геология, почвенный покров, NDVI, температурные аномалии и т.п.;

– Точки: положительные бактериологические пробы, обнаружение маркеров, данные учетов носителей и переносчиков возбудителей особо опасных инфекций;

– Таблицы: 1000 и более погодно-климатических показателя (t°C, осадки, влажность, давление), данные о численности носителей и переносчиков.

2. Предобработка: единый формат:

– Автоматическое извлечение значений растров в точках обследования;

– Нормализация названий, обработка дубликатов;

– Определение типа предиктора: непрерывный / категориальный.

3. Ядро: оптимальный биннинг + оценка информативности

– Перебор 5 методов разбиения (Friedman-Diaconis, квантили, равные интервалы, кластеризация, энтропийный);

– Автовыбор лучшего метода по максимуму информативности;

– Штраф за сложность (BIC) – защита от переобучения;

– KL-дивергенция с доверительными интервалами (bootstrap);

– Непараметрическая проверка: критерий Манна–Уитни, корреляция Спирмена (Python scipy.stats).

4. Модели: 5 типов правил

1. Общая модель – все информативные предикторы;
2. Все главные – только сильнейшие факторы;
3. Главные позитивные – накопленный ПК до +30 дБ;
4. Все позитивные – все благоприятные интервалы;
5. Гипотетические – потенциальные зоны вне точек находок.

5. Выход: Интерпретируемый прогноз (пространственный/временной)

– Правила IF-THEN для растрового калькулятора (QGIS);

– Таблицы: «При высоте 1800–2200 м, t января −8…−4°C и осадках июля 80–120 мм – риск эпизоотии в 12× выше»;

– Карты эпизоотического риска с обоснованием каждой зоны;

– Определение естественных границ между очагами.

Используются стандартные метрики: ROC-анализ с расчётом AUC.

Результаты могут быть представлены в табличном виде, в виде диаграмм, в виде растровых слоев для ГИС (рисунок 1).

Результаты

Как ранжирование очаговых территорий по вероятности возникновения эпизоотий, так и границы территории самих очагов определяются границами экологической ниши возбудителей, реализованной нишей Хатчинсона [6]. Одна из задач, которые предназначен решать разработанная модель ИИ – создание неполных реализованных ниш Хатчинсона для паразитарных систем особо опасных природно-очаговых инфекций.

Использование ИИ «Piastres» для моделирования неполных экологических ниш Хатчинсона позволяет, хотя бы частично, решить две важных проблемы при обследовании:

– экстраполяция модели за пределы её «экологической ниши» (model extrapolation / out-of-sample prediction).

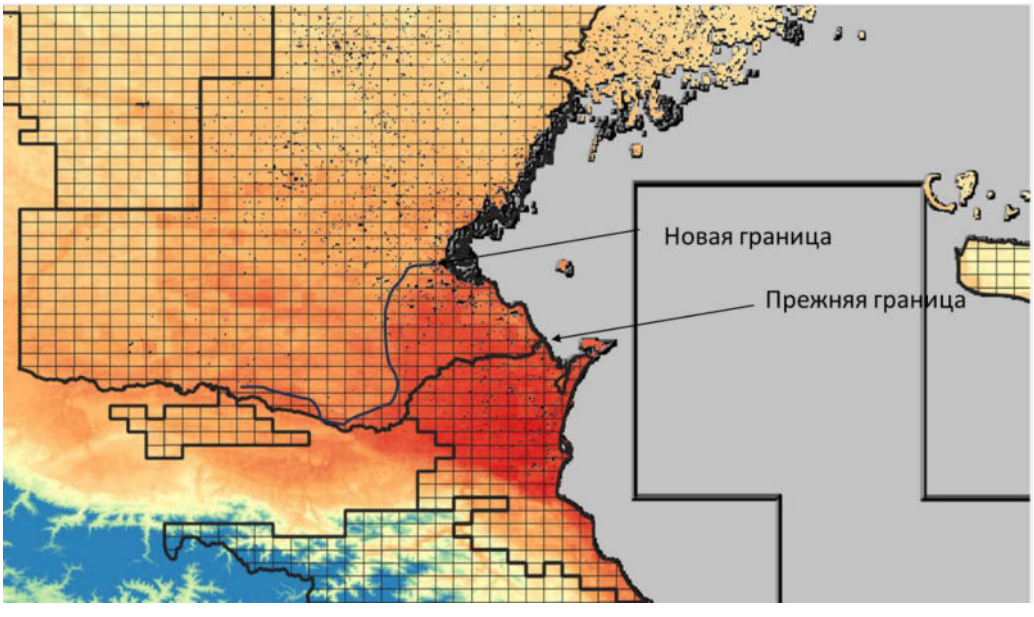
– эффект предвзятости обнаружения [7, 8].

Для использования в практическом здравоохранении с использованием ИИ «Piastres»:

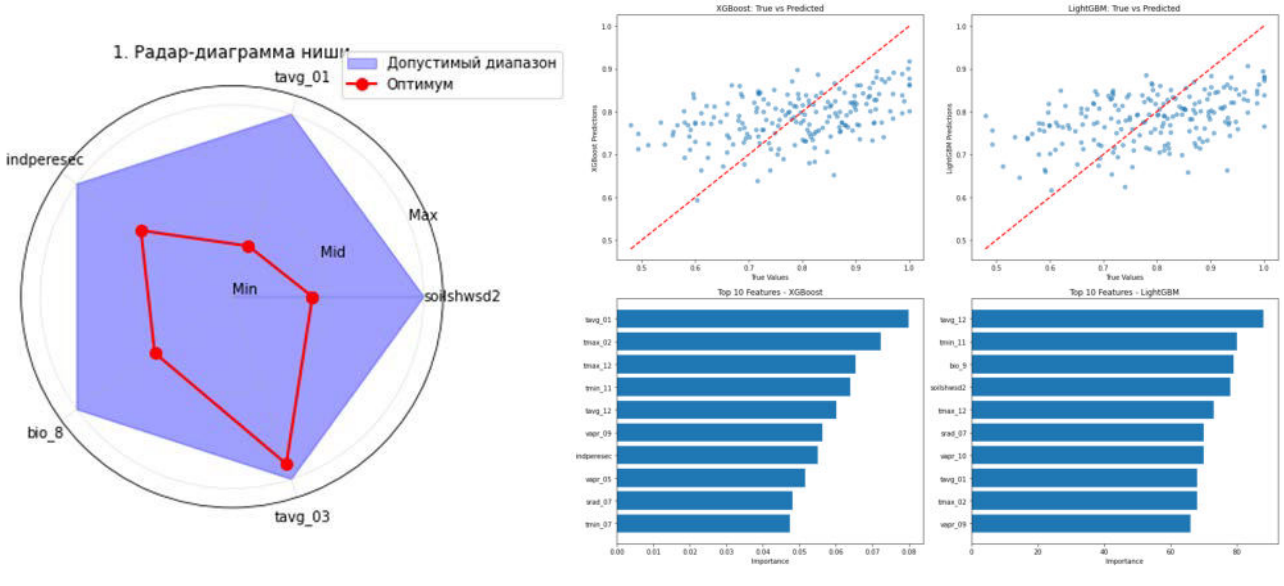
– определена естественная граница между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы [9];

– разработаны слои электронной карты для целенаправленного поиска эпизоотий туляремии на Юго-Востоке Республики Армения и дан долгосрочный прогноз изменения эпизоотической активности этого очага в связи с климатическими изменениями ([10], рис. 2);

– в настоящее время проводится дифференциация очаговых территорий по туляремии и КГЛ для Юга России.



а

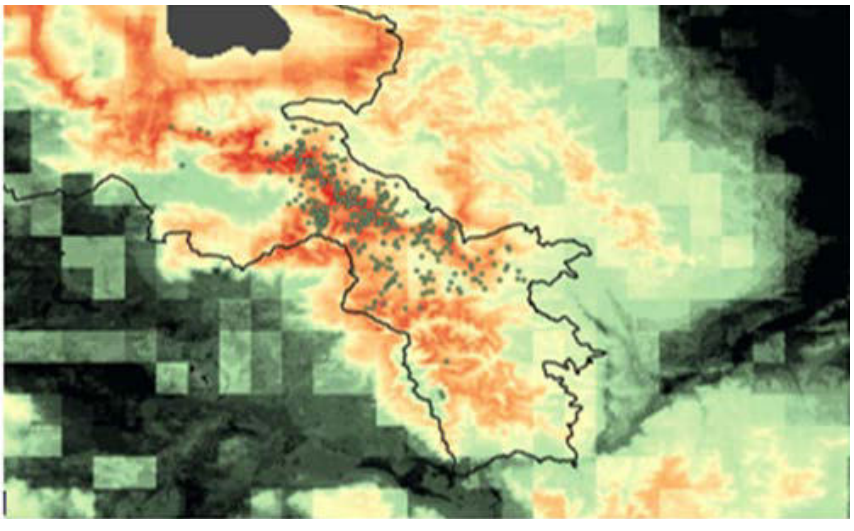


б

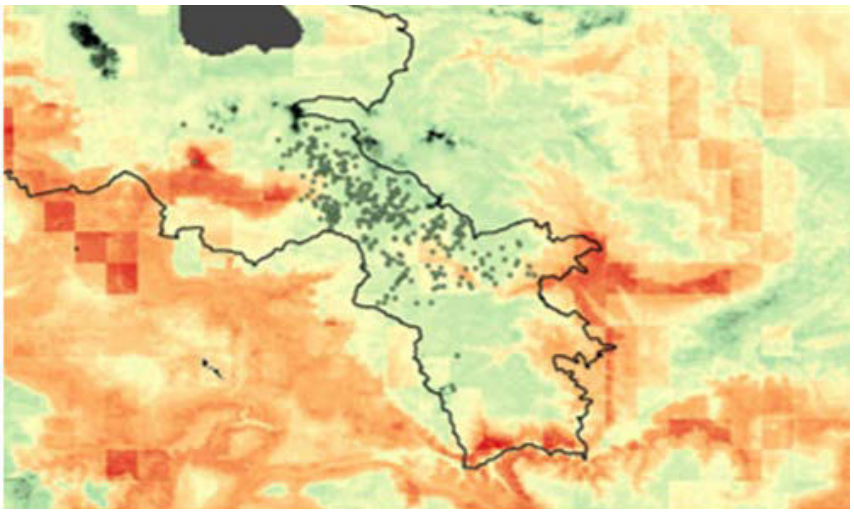
Рис. 1. Представление результатов обработки данных с использованием ИИ «Piastres»: *а* – растровые данные [9], *б* – графики

Обсуждение

Разработанный ИИ «Piastres» занимает нишу между классическими статистическими методами и «чёрными ящиками» машинного обучения. Основные преимущества подхода:



а



б

Рис. 2. Модель экологической ниши очага туляремии в настоящее время (*а*) и прогноз на 2040–2050 гг. (*б*) [10]: градиент красного цвета – толерантность условий для циркуляции возбудителя туляремии; зеленые точки – места выявления возбудителя

Интерпретируемость. Пользователь получает не вероятностный балл, а конкретное правило: «При сочетании факторов X, Y, Z – риск в N раз выше». Это позволяет специалисту принять обоснованное решение.

Устойчивость к редким событиям. В отличие от большинства нейросетей, требующих тысяч размеченных примеров, метод работает при 10–100 точках обнаружения, что соответствует реальной ситуации в эпизоотологии.

Учёт нелинейностей. Оптимальный биннинг автоматически выявляет немонотонные зависимости между предикторами и целевой переменной, что недоступно для линейных регрессий.

Защита от переобучения. BIC-штраф за сложность и бутстреп-доверительные интервалы предотвращают включение в модель случайных корреляций.

Работа с ошибками данных. Разбиение на интервалы (квартили, оптимизированные бины) снижает зависимость результата от ошибок исходных данных, что критически важно для полевых материалов с ошибкой 20–50%.

Универсальность. Методология применима не только к чуме и туляремии, но и к другим природно-очаговым инфекциям, а также к задачам экологического моделирования в целом.

Ограничения. Как и любая статистическая модель, ИИ «Piastres» требует репрезентативной выборки точек обследования. При сильной пространственной предвзятости (обследование только доступных участков) результаты могут быть смещены. Однако использование доверительных интервалов частично компенсирует этот эффект.

В настоящее время ведутся работы по интеграции временных рядов для мониторинга динамики активности природных очагов особо опасных инфекций.

Заключение

В предварительном порядке можно считать успешным использование ИИ «Piastres» для повышения эффективности мониторинга, дифференциации очаговой территории и целенаправленного поиска эпизоотий ряда особо опасных природно-очаговых инфекций.

Программный комплекс находится на стадии MVP (минимально жизнеспособного продукта) и уже показал практическую значимость в реальных задачах:

– определена естественная граница между двумя очагами чумы;

– созданы прогнозные карты для туляремии с временным горизонтом до 2050 г.;

– начата работа по дифференциации очагов КГЛ и туляремии на Юге России.

Разработанная методология может быть рекомендована для использования в учреждениях Роспотребнадзора, противочумных станциях и научно-исследовательских институтах эпидемиологического профиля.

Список литературы

1. Куличенко, А. Н. Эпидемиологическая обстановка по природно-очаговым болезням на юге европейской части России (аналитический обзор) / А. Н. Куличенко, Е. А. Манин, Н. Ф. Василенко, В. В. Махова, О. В. Семенко, Д. А. Прислегина, М. А. Журавель, Д. С. Агапитов, У. М. Ашибоков. – Ставрополь: ИП Дорофеев В.Ю, 2026. – 152 с.

2. Лисовский, А. А. Преимущества и ограничения методов экологического моделирования ареалов. 1. Общие подходы / А. А. Лисовский, С. В. Дудов, Е. В. Оболенская // Журнал общей биологии. – 2020. – Т. 81, № 2. – С. 123–134.

3. Малахов, Д. В. ГИС-моделирование экологической ниши: вызовы и решения / Д. В. Малахов // Selevinia. – 2022. – № 30. – С. 105–116.

4. Гублер Е. В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов / Е. В. Гублер. – Ленинград : Медицина. Ленингр. отд-ние, 1978. – 296 с.

5. Дубянский, М. А. Прогнозирование эпизоотической активности чумы в Приаралье и Кызылкумах / М. А. Дубянский, А. Кенжебаев, В. М. Степанов, Г. А. Асенов, Л. Д. Дубянская. – Нукус : Каракалпакстан, 1992. – 240 с.

6. Begon M., Townsend C. R. Ecology: from individuals to ecosystems. – Oxford : Blackwell Publishing, 2020. – 738 p.

7. Lambert C., Cecere J. G., De Pascalis F., Grémillet D. Correcting detection bias in mapping the abundance of marine megafauna using a Mediterranean seabird as an example // ICES Journal of Marine Science. – 2024. – Vol. 81, № 5. – P. 996–1006. – DOI: 10.1093/icesjms/fsae058.

8. Yang Y., Sánchez-Tójar A., O'Dea R. E. [et al.] Publication bias impacts on effect size, statistical power, and magnitude (Type M) and sign (Type S) errors in ecology and evolutionary biology // BMC Biology. – 2023. – Vol. 21, № 1. – P. 71. – DOI: 10.1186/s12915-022-01485-y.

9. Дубянский, В. М. Опыт определения естественной границы между Прикаспийским песчаным и Дагестанским равнинно-предгорным природными очагами чумы с использованием элементов искусственного интеллекта / В. М. Дубянский, У. М. Ашибоков, А. Х. Халидов, А. А. Касьян // Проблемы особо опасных инфекций. – 2025. – № 3. – С. 99–107. – DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-99-107.

10. Манучарян А. Ф., Мелик-Андреасян Г. Г., Даниелян Р. Р., Газиева А. Ю., Дубянский В. М., Малецкая О. В. Влияние изменения климата на природные очаги чумы и туляремии в Армении / А. Ф. Манучарян, Г. Г. Мелик-Андреасян, Р. Р. Даниелян, А. Ю. Газиева, В. М. Дубянский, О. В. Малецкая // Проблемы особо опасных инфекций. – 2026. – № 1. – С. 129–136. – DOI: 10.21055/0370-1069-2026-1-129-136.

УДК 004.8:61

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К НАРУШЕНИЯМ КАЧЕСТВА СТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Елина В.В., магистрант Ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва, Россия;
ORCID: 0009-0007-3601-6038

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF MACHINE LEARNING MODEL ROBUSTNESS TO STRUCTURED CLINICAL DATA QUALITY DEGRADATION

Elina V.V., Master's student, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0007-3601-6038

Аннотация

Оценка качества медицинских моделей машинного обучения чаще всего проводится на заранее подготовленных данных, хотя в реальной клинической практике встречаются пропуски, ошибки измерений, аномальные значения и неточности разметки. В работе исследуется, как тип, выраженность и этап возникновения таких дефектов влияют на дискриминационную способность и калибровку моделей. Эксперименты выполнены на открытом наборе SUPPORT2, включающем 9 105 наблюдений, 30 предикторов и бинарный исход госпитальной летальности. На 20 фиксированных стратифицированных разбиениях сравнивались логистическая регрессия, случайный лес и XGBoost. В данные контролируемо вносились полностью случайные пропуски MCAR, гауссов шум, выбросы по внешним границам Тьюки и симметричные ошибки в целевых метках. Искажения признаков рассматривались раздельно для обучения и применения модели. Результаты оценивали по AUROC, AUPRC, оценке Брайера и параметрам калибровки. Импутация, кодирование и настройка моделей выполнялись только по обучающей части данных. Изменение каждой метрики отсчитывали от референсного условия, а знак показателя задавали так, чтобы положительное значение соответствовало ухудшению. По каждой конфигурации рассчитывали среднее, медиану, стандартное отклонение, эмпирический диапазон 2,5–97,5% и стандартную ошибку Монте-Карло. Самое заметное ухудшение было получено для логистической регрессии при внесении 30% дополнительных MCAR-пропусков в тестовые данные: AUROC снизился на 0,163, AUPRC – на 0,234, а оценка Брайера увеличилась на 0,144. При изменении 30% меток в обучающей выборке наклон калибровочной модели составил 2,68–3,26, а снижение AUROC – 0,026–0,048. На максимальном уровне искажений AUROC сильнее снижался при дефектах во входных данных, чем при дефектах обучающей выборки, для всех девяти сочетаний оператора и модели. Однако один алгоритм, устойчивый ко всем нарушениям и по всем метрикам, выделить не удалось. Логистическая регрессия оказалась особенно чувствительной к MCAR-пропускам при применении и к выбросам, но меньше теряла AUROC при ошибках в метках по сравнению с древесными ансамблями. По-

лученные результаты показывают, что техническую устойчивость медицинских ML-моделей необходимо оценивать отдельно для разных типов дефектов, сценариев их возникновения и групп метрик.

Ключевые слова: качество медицинских данных; машинное обучение; устойчивость; калибровка; пропуски; ошибки измерений; шум разметки; клинические прогнозные модели

Abstract

Machine-learning models in medicine are typically evaluated on carefully prepared datasets, whereas real-world clinical data may contain missing values, measurement errors, anomalous observations, and incorrect target labels. This study examines how the type, severity, and timing of controlled data-quality defects affect model discrimination and calibration. Experiments were conducted on the open SUPPORT2 dataset containing 9,105 observations, 30 predictors, and in-hospital mortality as the binary outcome. Logistic regression, random forest, and XGBoost were evaluated across 20 fixed stratified splits. Four types of controlled corruption were introduced: missing completely at random (MCAR), additive Gaussian noise, outliers defined using outer Tukey fences, and symmetric target-label noise. Feature corruption was analyzed separately during model training and during inference. Model performance was assessed using AUROC, AUPRC, Brier score, calibration intercept, and calibration slope. All preprocessing and hyperparameter tuning procedures were performed exclusively on the training data. Performance degradation was calculated relative to the corresponding reference condition so that positive values consistently represented deterioration. For each experimental configuration, the mean, median, standard deviation, empirical 2.5–97.5% interval, and Monte Carlo standard error were reported. The strongest degradation was observed when 30% additional MCAR missingness was introduced at inference time for logistic regression: AUROC decreased by 0.163, AUPRC by 0.234, while the Brier score increased by 0.144. With 30% corruption of the training labels, calibration slope ranged from 2.68 to 3.26 across models, despite relatively modest AUROC losses of 0.026–0.048. At the highest corruption level, inference-time AUROC degradation exceeded training-time degradation in all nine feature-corruption-by-model combinations. No single algorithm was consistently the most robust, as model ranking depended on both corruption type and evaluation metric. Logistic regression showed greater sensitivity to inference-time MCAR missingness and outliers, but smaller AUROC losses under label noise than tree-based ensembles. These findings indicate that technical robustness of clinical machine-learning models should be evaluated separately across defect types, corruption scenarios, and performance dimensions.

Keywords: clinical data quality; machine learning; robustness; calibration; missing data; measurement error; label noise; clinical prediction models

1. Введение

Качество медицинских данных зависит от задачи. Система METRIC систематизирует измерения качества, релевантные для доверенного медицинского искусственного интеллекта, но не задаёт универсальную функцию связи дефекта с потерей качества прогноза [1]. Тезис «плохие данные ухудшают модель» сам по себе не является ни проверяемой гипотезой, ни научной новизной.

Исследования на Medical Information Mart for Intensive Care IV (MIMIC-IV) уже сравнили несколько измерений качества данных, алгоритмов и нарушений в обучающей и тестовой выборках [2, 3]. Поэтому пробел сформулирован узко: требуется независимое воспроизведение с расширением на другом открытом табличном клиническом наборе данных, прямой оценкой калибровки, повторным парным дизайном и журналом аудита масок. Дополнительные пропуски, шум измерений, выбросы и симметричный шум меток далее рассматриваются как контролируемые операторы анализа чувствительности, а не как полные модели реальных клинических ошибок.

Цель работы – количественно оценить влияние типа, уровня и сценария контролируемого нарушения качества на дискриминацию и калибровку моделей разных семейств. Объект исследования – клинические прогнозные модели; машинное обучение рассматривается через их устойчивость и калибровку при таких дефектах, как пропуски, ошибки измерений и шум разметки.

2. Материалы и методы

2.1. Данные, разбиение и модели

SUPPORT2 происходит из многоцентрового исследования тяжело больных госпитализированных пациентов [4]. Аналитическая матрица содержала 9 105 наблюдений, 30 предикторов, 2 360 госпитальных смертей (25,92%) и 13,82% естественно пропущенных ячеек. Исход, время до смерти, длительность пребывания, расходы, последующие прогностические оценки и исходные оценки тяжести исключены как возможная утечка целевой переменной. Референсное условие означает отсутствие дополнительно внесённого искажения, а не идеальную чистоту источника. Исходный файл получен из UCI Machine Learning Repository (SUPPORT2, ID 880; DOI: 10.3886/ICPSR02957.v2; дата обращения: 31.08.2026). Использовались опубликованные обезличенные данные; взаимодействие с пациентами и клиническое вмешательство в рамках настоящего исследования не проводились.

Использовались 20 повторных стратифицированных разбиений 80:20. Логистическая регрессия, случайный лес и XGBoost представляли линейную модель, бэггинг и градиентный бустинг. На референсной внешней обучающей подвыборке проводилась трёхблочная стратифицированная перекрёстная проверка с оптимизацией логарифмической функции потерь по заранее заданной сетке. Выбранные гиперпараметры фиксировались для всех условий данного разбиения. Импутация, индикаторы пропусков, кодирование категорий и масштабирование входили в конвейер и обучались только в обучающей части или блока.

2.2. Моделирование дефектов данных

Для получения полностью случайных пропусков (MCAR) выбирали заданную долю ячеек, в которых изначально имелись значения, и заменяли их на пропуски. Маски строили последовательно: набор ячеек для меньшего уровня входил в набор следующего уровня.

$$p \in \{0{,}05;\ 0{,}10;\ 0{,}20;\ 0{,}30\}$$

Доли 5%, 10%, 20% и 30% задавали только шкалу интенсивности эксперимента. Они не рассматривались как оценка частоты пропусков в реальных клинических данных. Шум измерений вводили как аддитивное гауссово возмущение:

$$x'_{ij} = x_{ij} + \alpha\sigma_j z_{ij}, \quad z_{ij} \sim N(0,\ 1)$$

Стандартное отклонение σ_j определяли по неизменённой обучающей выборке, поэтому сведения из тестовой части при расчёте не использовались. Интенсивность шума задавал коэффициент:

$$\alpha \in \{0{,}10;\ 0{,}25;\ 0{,}50;\ 1{,}00\}$$

Для создания выбросов по обучающей части вычисляли квартили Q_1 и Q_3 и межквартильный размах IQR. Затем выбранные значения переносили за внешние границы Тьюки $Q_1 - 3IQR$ и $Q_3 + 3IQR$. Доля изменённых ячеек составляла 1%, 2,5%, 5% или 10%. Ошибки разметки задавали инверсией 5%, 10%, 20% или 30% меток в обучающей выборке; тестовые метки не изменяли.

Эксперименты с признаками проводились по двум схемам. В сценарии A искажалась только обучающая часть, после чего модель оценивали на исходной тестовой выборке. В сценарии B модель обучали на исходных данных, а дефекты вносили только в тестовые признаки. Параметры предобработки в обоих случаях определяли по обучающей части.

Для воспроизводимости сохраняли маски изменённых ячеек, начальные значения генератора случайных чисел, статистики обучающей выборки и хеш конфигурации. Код, параметры запусков и результаты в машиночитаемом виде могут быть предоставлены автором по запросу. Последовательность эксперимента показана на рис. 1.

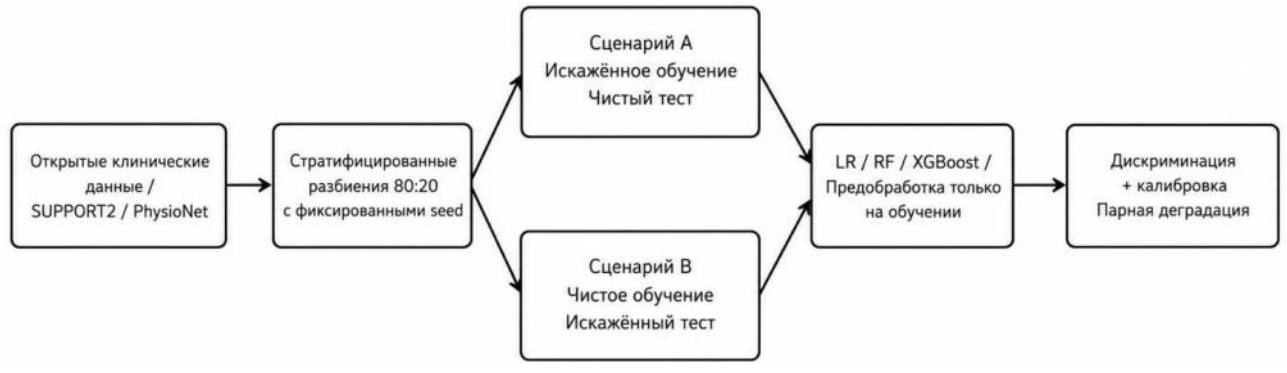


Рис. 1. Последовательность проведения эксперимента

2.3. Показатели качества и статистическая обработка

Качество прогноза оценивали по AUROC, AUPRC и оценке Брайера. Дополнительно рассчитывали свободный член и наклон калибровочной модели. Эти показатели описывают разные стороны работы модели: разделение классов, точность вероятностных оценок и калибровку [5].

Для показателей, у которых большее значение означает лучший результат, ухудшение рассчитывали по формуле:

$$\Delta M = M(\text{clean}) - M(\text{corrupted})$$

Для оценки Брайера порядок вычитания меняли, так как рост этого показателя означает ухудшение. Отклонение параметров калибровки от целевых значений оценивали отдельными функциями потерь:

$$L(\text{intercept}) = |\text{intercept}|;\ L(\text{slope}) = |\text{slope} - 1|$$

Таким образом, положительный результат во всех формулах означал ухудшение по сравнению с референсным условием.

Для 20 разбиений приводили среднее, медиану, стандартное отклонение, межквартильный размах, эмпирический диапазон 2,5–97,5% и стандартную ошибку Монте-Карло для парных изменений метрик. Этот диапазон показывает различия между разбиениями, но не является доверительным интервалом для генеральной совокупности: некоторые тестовые выборки содержали одни и те же наблюдения.

Дополнительно была заранее задана модель смешанных эффектов. С её помощью проверяли, как совместно связаны с результатом семейство алгоритма, тип и уровень искажения, а также этап его внесения. При граничных оценках или нарушении предпосылок этой модели выводы основывали прежде всего на парных изменениях метрик.

3. Результаты

Полная матрица составила 1 740 строк метрик; все 20 разбиений, 1 740 артефактов прогнозов и 560 масок искажения прошли проверку хеша протокола и полноты.

Референсные значения метрик представлены в таблице 1.

На максимальном уровне MCAR на этапе применения (30%) логистической регрессии потеряла AUROC 0,1634 [0,0969; 0,2149], AUPRC 0,2341 [0,1354; 0,3030], а оценка Брайера выросла на 0,1436 [0,0531; 0,1997]. Для случайного леса эти эффекты составили 0,0330 [0,0229;

0,0406], 0,0577 [0,0410; 0,0782] и 0,0124 [0,0107; 0,0154]; для XGBoost – 0,0383 [0,0297; 0,0518], 0,0641 [0,0486; 0,0864] и 0,0161 [0,0133; 0,0225].

Таблица 1

Референсное качество: среднее (стандартное отклонение) по 20 разбиениям

Модель	AUROC	AUPRC	Brier	Свободный член	Наклон
Логистическая регрессия	0,8355 (0,0100)	0,6398 (0,0237)	0,1368 (0,0041)	0,0119 (0,0592)	1,0015 (0,0681)
Случайный лес	0,8444 (0,0085)	0,6593 (0,0187)	0,1345 (0,0030)	0,1268 (0,0822)	1,1909 (0,1318)
XGBoost	0,8437 (0,0086)	0,6669 (0,0184)	0,1331 (0,0036)	0,0360 (0,0538)	1,0377 (0,0601)

Кривые деградации AUROC по типам, уровням и сценариям искажения представлены на рис. 2.

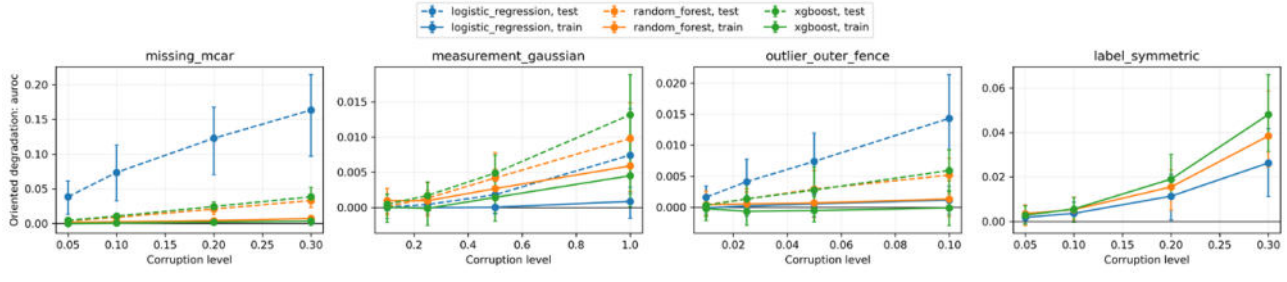


Рис. 2. Деградация AUROC в зависимости от интенсивности и сценария искажения: среднее и эмпирический интервал 2,5–97,5% по 20 разбиениям

При искажении 30% обучающих меток AUROC снизился на 0,0263 [0,0112; 0,0417] для логистической регрессии, 0,0385 [0,0246; 0,0587] для случайного леса и 0,0481 [0,0315; 0,0662] для XGBoost. Деградация AUPRC составила 0,0392, 0,0570 и 0,0774 соответственно. Максимальный уровень гауссовского шума на этапе применения дал AUROC-деградацию 0,0074, 0,0098 и 0,0132, а 10% выбросов на этапе применения – 0,0143, 0,0052 и 0,0059. В тех же условиях искажения признаков при искажении обучающих данных эффект не превышал 0,0070.

Для всех девяти максимальных сочетаний трёх типов искажений признаков и трёх моделей средний AUROC-контраст деградации «тестирование минус обучение» был положительным; в 7/9 эмпирические интервалы не пересекали ноль. Для пропусков, полностью случайных (MCAR), контраст составил 0,1602 [0,0932; 0,2127] у логистической регрессии, 0,0260 [0,0138; 0,0359] у случайного леса и 0,0349 [0,0228; 0,0492] у XGBoost.

При искажении 30% обучающих меток наклон калибровочной модели изменился с 1,001 до 3,151 для логистической регрессии, с 1,191 до 3,259 для случайного леса и с 1,038 до 2,680 для XGBoost. При 30% MCAR на этапе применения логистической регрессии имела свободный член –0,550 и наклон 0,263 против референсного условия 0,012 и 1,001; оценка Брайера выросла с 0,137 до 0,280. Таким образом, деградация калибровки не определялась однозначно изменением AUROC.

Деградация оценки Брайера представлена на рис. 3.

Заранее заданная модель смешанных эффектов для AUROC формально сошлась, но дисперсия случайного эффекта оказалась на границе нуля, а ковариационная матрица – сингулярной. Из-за этого и перекрытия тестовые подвыборки значения p не использовались для

подтверждающих выводов. Основными остались парные размеры эффектов и вариабельность между разбиениями.

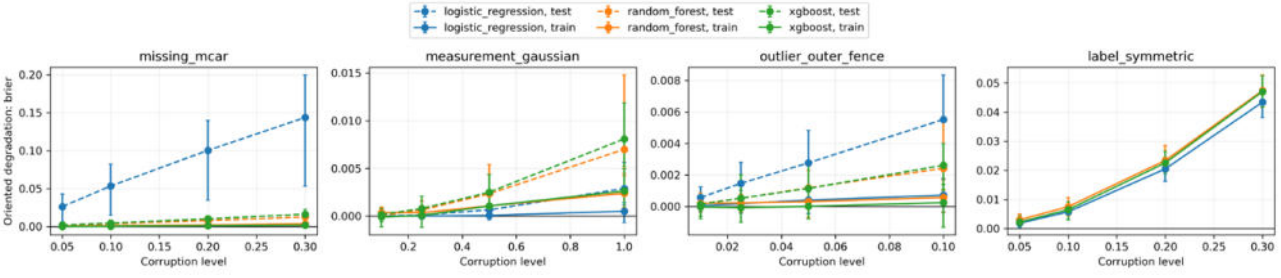


Рис. 3. Деградация оценки Брайера: среднее и эмпирический интервал 2,5–97,5% по 20 разбиениям

4. Обсуждение

Результаты уточняют общий вывод ближайших MIMIC-IV исследований [2, 3]: реакция на деградацию качества данных зависит от модели, типа искажения и сценария. Совпадение направления не доказывает универсальности: размеры эффектов зависят от когорты, распространённости исхода, формирования признаков, предобработки и математики оператора.

Гипотеза о универсальной неубывающей деградации всех основных метрик не поддержана: монотонность наблюдалась в 18/18 рядов искажений признаков для AUPRC, 14/18 для AUROC, 16/18 для Brier, но лишь в 11/18 и 8/18 для свободного члена и наклон калибровочной модели. Взаимодействия модели с типом искажения и сценария с типом искажения и расхождение калибровки и дискриминации получили описательную, но не подтверждающую поддержку. Логистическая регрессия была наиболее уязвима к MCAR на этапе применения и выбросам, но меньше теряла AUROC при шум меток. Один «самый устойчивый» алгоритм по этим данным не существует.

Научный вклад не состоит в наблюдении, что «плохие данные ухудшают модели». Вклад – независимая воспроизводимая воспроизведение с расширением, совместное измерение дискриминацию и калибровку, парное различение искажений на этапах разработки и эксплуатации и машинно-читаемый журнал аудита до изменённой ячейки.

Организационно-правовые вопросы не входили в экспериментальный дизайн. При превращении протокола в программный сервис потребуется определить вид информационно-технологической услуги [6], правовой режим формируемых информационных объектов [7], условия охраны кода и документации как результатов интеллектуальной деятельности [8], а при интеграции с источниками Интернета вещей – требования информационной безопасности [9]. Эти правовые положения не используются для обоснования методов машинного обучения или клинических выводов настоящего исследования.

5. Ограничения

Использованные в работе синтетические искажения не могут полностью воспроизвести все виды ошибок, характерные для реальных электронных медицинских записей (EHR). В частности, механизм MCAR является более простым случаем по сравнению с пропусками MAR и MNAR. Добавление гауссовского шума не учитывает систематические погрешности измерений и особенности конкретного медицинского оборудования. Правило Тьюки создаёт статистически экстремальные значения, но не позволяет утверждать, что они невозможны с клинической точки зрения. Симметричная инверсия меток также упрощает реальные диагностические ошибки и не учитывает различия в чувствительности и специфичности.

Исследование выполнено на одном историческом наборе данных о тяжёлых госпитализированных пациентах. Поэтому полученные оценки нельзя без дополнительной проверки переносить на другие учреждения и группы пациентов. Кроме того, сравнение ограничено тремя семействами моделей и одним бинарным исходом – госпитальной летальностью.

В повторных разбиениях часть наблюдений попадала в несколько тестовых подвыборок, а дисперсия случайного эффекта в смешанной модели оказалась на границе нуля. Поэтому эмпирические диапазоны не трактовались как доверительные интервалы для генеральной совокупности, а значения p не использовались для подтверждающих выводов. Работа характеризует прежде всего техническую устойчивость моделей к контролируемым нарушениям качества данных и не позволяет делать выводы об их клинической безопасности, практической полезности, влиянии на решения врача или исходы пациентов. Повторное использование медицинских данных также требует самостоятельной проверки их качества [10].

6. Выводы

Результаты показали, что влияние дефектов данных определяется не только их типом и интенсивностью, но и этапом, на котором они возникают. Наиболее выраженная чувствительность логистической регрессии наблюдалась при появлении MCAR-пропусков на этапе применения модели. В то же время ошибки в целевых метках сильнее снижали AUROC у древесных ансамблей и заметно нарушали калибровку всех рассмотренных моделей.

Полученные результаты не позволяют выделить один алгоритм как наиболее устойчивый во всех условиях. Сравнение моделей должно проводиться отдельно для каждого типа дефекта и учитывать как дискриминационную способность, так и качество калибровки. Предложенный воспроизводимый протокол может использоваться для технической оценки чувствительности ML-моделей к нарушениям качества данных, однако сам по себе не является основанием для вывода о безопасности их применения в клинической практике.

Список литературы

1. Schwabe D. et al. The METRIC-framework for assessing data quality for trustworthy AI in medicine: a systematic review // npj Digital Medicine. 2024. Vol. 7. Art. 203. DOI: 10.1038/s41746-024-01196-4.

2. Idris Pacha N., Aloui S., Rabaoui A. et al. Test-Time Data Quality Degradation in Clinical ML: A Systematic Robustness Analysis on MIMIC-IV // Studies in Health Technology and Informatics. 2026. Vol. 336. P. 203–207. DOI: 10.3233/SHTI260137.

3. Idris Pacha N., Aloui S., Rabaoui A. et al. Robustness of Healthcare ML Under Data Quality Degradation: A Dimension-Wise Analysis on MIMIC-IV // Studies in Health Technology and Informatics. 2026. Vol. 336. P. 2518–2519. DOI: 10.3233/SHTI260150.

4. Knaus W. A. et al. The SUPPORT Prognostic Model: Objective Estimates of Survival for Seriously Ill Hospitalized Adults // Annals of Internal Medicine. 1995. Vol. 122, № 3. P. 191–203. DOI: 10.7326/0003-4819-122-3-199502010-00007.

5. Van Calster B. et al. Evaluation of performance measures in predictive artificial intelligence models to support medical decisions: overview and guidance // The Lancet Digital Health. 2025. Vol. 7, № 12. Art. 100916. DOI: 10.1016/j.landig.2025.100916.

6. Жарова А. К. О подходе к классификации информационно-технологических услуг // Государство и право. 2014. № 3. С. 32–38. EDN SDFIQT.

7. Елин В. М., Жарова А. К. О выделении информационных объектов в самостоятельную категорию объекта преступления // Труды Института государства и права Российской академии наук. 2009. № 5. С. 205–229. EDN SAMBAN.

8. Жарова А. К. Правовая защита интеллектуальной собственности: учебное пособие для магистратуры / под общ. ред. С. В. Мальцевой. Москва: Юрайт, 2012. 373 с. (Магистр). ISBN 978-5-9916-1925-7. EDN QSLSFB.

9. Жарова А. К. Правовое обеспечение информационной безопасности при использовании Интернета вещей // Информационное право. 2019. № 4. С. 31–34. EDN PWHKBY.

10. Ермакова Н. А., Гусев А. В., Реброва О. Ю. Ошибки в данных реальной клинической практики: обзор литературы // Врач и информационные технологии. 2024. № 1. С. 28–43. DOI: 10.25881/18110193_2024_1_28.

УДК 004.8:614.2

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕЖЕДНЕВНОЙ НАГРУЗКИ МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КАК ЭЛЕМЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМОЙ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ КЛИНИКИ

Латыпова Ф.И., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-6525-3185

A MODEL FOR FORECASTING THE DAILY PATIENT LOAD OF A MEDICAL ORGANIZATION AS A COMPONENT OF AN INTELLIGENT MANAGEMENT SYSTEM FOR THE DIGITAL ECOSYSTEM OF A DENTAL CLINIC

Latypova F.I., student of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-6525-3185

Аннотация

Планирование нагрузки является одной из ключевых управленческих задач медицинской, в том числе стоматологической, организации: недостаточно точный прогноз числа пациентов приводит либо к простою персонала и оборудования, либо к очередям и снижению качества обслуживания. Целью статьи является разработка и эмпирическая апробация модели прогнозирования ежедневного числа пациентов на приёме как аналитического компонента интеллектуальной системы управления цифровой экосистемой медицинской организации. Научная и практическая значимость работы обусловлена ограниченным числом исследований, в которых задача прогнозирования нагрузки решается на уровне отдельной точки оказания услуг с использованием интерпретируемых моделей, пригодных для внедрения в контур управления небольшой клиники. Методология исследования включает построение панельного набора данных «точка оказания услуг – день» на основе реального массива из 110 527 записей на амбулаторный приём в системе здравоохранения города Витория (Бразилия), конструирование признаков на основе истории записей без утечки данных из будущего, а также сравнение базовых (наивных) прогнозов с моделями линейной регрессии, случайного леса и градиентного бустинга. Результаты показывают, что модель линейной регрессии, использующая исторические средние значения нагрузки по точке оказания услуг и дню недели, а также значение показателя за предыдущий день, снижает среднюю абсолютную ошибку прогноза примерно на 8% по сравнению с базовым прогнозом на основе исторического среднего, при средней абсолютной процентной ошибке около 21%. Показано, что наиболее значимым признаком является историческая средняя нагрузка точки оказания услуг, тогда как день недели как самостоятельный признак имеет ограниченную предсказательную силу при коротком периоде наблюдения. Обсуждаются ограничения исследования, связанные с использованием открытого датасета общемедицинского профиля вместо данных стоматологической клиники, а также направления дальнейшей валидации модели на данных конкретной организации. Предложенная модель рассматривается как компонент аналитического уровня интеллектуальной архитектуры цифровой экосистемы предприятия, результаты работы которого используются для поддержки решений о планировании расписания врачей и среднего медицинского персонала.

Ключевые слова: прогнозирование нагрузки, интеллектуальная система управления, цифровая экосистема предприятия, машинное обучение, стоматологическая клиника, планирование расписания, линейная регрессия, случайный лес, поддержка принятия решений, здравоохранение

Abstract

Load planning is one of the key management tasks of a medical, including dental, organization: an insufficiently accurate forecast of the number of patients leads either to idle staff and equipment or to queues and reduced service quality. The purpose of this article is to develop and empirically test a model for forecasting the daily number of patients as an analytical component of an intelligent management system for the digital ecosystem of a medical organization. The scientific and practical relevance of the study stems from the limited number of works that address load forecasting at the level of an individual point of care using interpretable models suitable for implementation in the management loop of a small clinic. The research methodology involves building a panel dataset of "point of care – day" based on a real array of 110,527 outpatient appointment records from the public health system of Vitória, Brazil, engineering features from appointment history without data leakage from the future, and comparing naive baseline forecasts with linear regression, random forest, and gradient boosting models. The results show that a linear regression model using historical average load by point of care and day of the week, together with the previous day's value, reduces the mean absolute forecast error by about 8% compared to a historical-average baseline, with a mean absolute percentage error of about 21%. The historical average load of the point of care is shown to be the most important feature, while the day of the week alone has limited predictive power given the short observation period. The article discusses limitations related to using an open general-medical dataset instead of dental clinic data, as well as directions for further model validation on data from a specific organization. The proposed model is considered a component of the analytical layer of the intelligent architecture of an enterprise's digital ecosystem, whose output supports decisions on scheduling physicians and dental hygienists.

Keywords: load forecasting; intelligent management system; digital enterprise ecosystem; machine learning; dental clinic; schedule planning; linear regression; random forest; decision support; healthcare

Введение

Одной из практических задач, возникающих при построении интеллектуальной системы управления цифровой экосистемой медицинской организации, является прогнозирование ежедневной нагрузки – числа пациентов, ожидаемых на приёме. Точность такого прогноза напрямую влияет на эффективность планирования расписания врачей и среднего медицинского персонала: заниженный прогноз ведёт к очередям и снижению качества обслуживания, завышенный – к простою дорогостоящего оборудования и рабочего времени специалистов. Для многопрофильных предприятий стоматологического профиля, совмещающих клинику с другими направлениями деятельности, точный прогноз нагрузки клиники дополнительно важен как входной сигнал для смежных процессов – планирования закупок расходных материалов и логистики их поставки.

Зарубежные исследования показывают, что методы машинного обучения способны превосходить традиционные статистические подходы при прогнозировании спроса на амбулаторные и стационарные медицинские услуги [1, 2, 3], однако большинство таких работ выполнено на данных крупных больниц или отделений неотложной помощи, где объём наблюдений составляет тысячи дней. Специфика небольших медицинских организаций, включая стоматологические клиники, где горизонт накопленных данных зачастую ограничен, а число точек оказания услуг невелико, изучена в меньшей степени: существующие работы по стоматологии преимущественно посвящены прогнозированию неявки отдельного пациента [4, 5,

6], а не совокупной нагрузки организации в целом. Целью данной статьи является разработка и эмпирическая апробация модели прогнозирования ежедневной нагрузки медицинской организации на основе панельных данных «точка оказания услуг – день» и её позиционирование как компонента аналитического уровня интеллектуальной архитектуры цифровой экосистемы предприятия, предложенной в предшествующей теоретической работе автора.

Методика

Эмпирической базой исследования послужил открытый массив данных о записи на амбулаторный приём в системе здравоохранения города Витория (штат Эспириту-Санту, Бразилия), содержащий 110 527 записей за период с апреля по июнь 2016 г. [7]. Использование открытого датасета общемедицинского, а не стоматологического профиля обусловлено отсутствием на момент подготовки статьи собственных данных стоматологической клиники автора; данное ограничение подробно обсуждается в разделе «Выводы». Каждая запись содержит идентификатор пациента, дату записи и дату приёма, район проживания пациента (соответствующий определённой точке оказания медицинской помощи), демографические признаки и отметку о факте неявки.

Для решения задачи прогнозирования нагрузки исходные данные были агрегированы в панель «точка оказания услуг – день»: для каждого сочетания района (точки оказания услуг) и календарной даты подсчитано число запланированных приёмов. Из 81 точки была отобрана 61, для дальнейшего анализа использовались 54 точки с объёмом не менее 500 записей за период наблюдения – таким образом сформирован набор из 2012 наблюдений «точка – день». Для каждого наблюдения были сконструированы признаки на основе истории только до текущей даты (без утечки данных из будущего): расширяющееся среднее число приёмов по точке; расширяющееся среднее по точке в разрезе дня недели; значение показателя за предыдущий день (лаг 1); день недели. Набор данных был разделён на обучающую и тестовую выборки по хронологическому принципу: последние шесть дат наблюдения использованы как тестовая выборка (324 наблюдения), предшествующий период – как обучающая выборка (810 наблюдений).

В качестве базовых (наивных) моделей использовались прогнозы на основе исторического среднего по точке оказания услуг и исторического среднего по точке и дню недели. В качестве интеллектуальных моделей были обучены линейная регрессия, случайный лес (Random Forest) и градиентный бустинг (Gradient Boosting) на признаках, перечисленных выше. Качество прогноза оценивалось по трём метрикам: средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичная ошибка (RMSE) и средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE).

Основная часть

Характеристика исходных данных

Анализируемый массив охватывает 27 календарных дат приёма пациентов, из которых на будние дни приходится подавляющее большинство записей: в среднем на понедельник, вторник и среду приходится больше приёмов, чем на четверг и пятницу, тогда как приём по субботам практически не осуществляется (39 записей за весь период). Среднее число приёмов в день по всем точкам оказания услуг составило 4094 (стандартное отклонение – 864), однако на уровне отдельной точки оказания услуг нагрузка существенно различается: наиболее загруженный район обеспечивает более 7700 записей за весь период, тогда как медианное значение по точкам оказания услуг составляет 851 запись.

Результаты моделирования

Результаты сравнения точности прогнозирования базовых и интеллектуальных моделей на тестовой выборке представлены в таблице 1.

Наилучший результат показала модель линейной регрессии: средняя абсолютная ошибка снизилась с 11,81 человека при базовом прогнозе (историческое среднее по точке) до 10,88 человека, что соответствует снижению ошибки примерно на 8%; среднеквадратичная ошибка снизилась с 15,95 до 14,62 (на 8,3%). Средняя абсолютная процентная ошибка лучшей модели составила 20,7% против 21,3% у базовой модели. Модели на основе ансамблевых методов

(Random Forest, Gradient Boosting) не превзошли по точности линейную регрессию и в отдельных случаях уступали даже базовому прогнозу, что объясняется коротким периодом наблюдения (27 дат): ансамблевые модели с большим числом параметров склонны к переобучению при ограниченном объёме обучающей выборки, тогда как линейная модель с небольшим числом признаков оказывается более устойчивой.

Таблица 1

Сравнение точности моделей прогнозирования ежедневной нагрузки

Модель	MAE, чел.	RMSE, чел.	MAPE, %
Базовая модель (среднее по точке оказания услуг)	11,81	15,95	21,3
Базовая модель (среднее по точке и дню недели)	12,00	16,27	22,1
Линейная регрессия	10,88	14,62	20,7
Random Forest	11,75	16,29	22,0
Gradient Boosting	11,67	15,90	21,8

Анализ важности признаков в модели случайного леса (таблица 2) показывает, что определяющий вклад в прогноз вносит историческая средняя нагрузка точки оказания услуг, тогда как день недели как самостоятельный признак практически не влияет на прогноз при данном объёме наблюдений – его предсказательная сила, вероятно, уже учтена через признак «среднее по точке и дню недели».

Таблица 2

Важность признаков в модели Random Forest

Признак	Важность (Random Forest)
Историческое среднее по точке оказания услуг (расширяющееся окно)	0,539
Среднее по точке и дню недели	0,334
Значение показателя за предыдущий день (lag-1)	0,125
День недели	0,001

Место модели в архитектуре интеллектуальной системы управления

В соответствии с четырёхуровневой архитектурой интеллектуальной системы управления цифровой экосистемой предприятия, предложенной в предшествующей работе автора, разработанная модель прогнозирования нагрузки относится к уровню аналитики и искусственного интеллекта: она обрабатывает первичные данные уровня записей о приёме и формирует выходной сигнал для уровня поддержки принятия решений. Практическое применение результатов прогноза включает: формирование рекомендаций по численности медицинского персонала на конкретный день для конкретной точки оказания услуг; заблаговременное планирование объёма расходных материалов; в случае многопрофильного предприятия – использование прогноза нагрузки клиники как входного параметра для смежных бизнес-процессов логистики и обучения персонала, что соответствует четвёртому, кросс-функциональному уровню предложенной архитектуры.

Для стоматологической клиники методика, апробированная в настоящей статье, переносима с учётом специфики предметной области: вместо района проживания пациента в качестве точки оказания услуг может выступать конкретный кабинет или врач, а состав признаков

может быть расширен за счёт типа планируемой процедуры (профилактический осмотр, терапевтическое или хирургическое лечение, ортодонтия), статуса оплаты (полис, добровольное страхование, платные услуги) и сезонных факторов, характерных для стоматологической практики.

Выводы

В результате исследования разработана и апробирована на реальных данных модель прогнозирования ежедневной нагрузки медицинской организации на уровне отдельной точки оказания услуг. Показано, что модель линейной регрессии, использующая исторические показатели нагрузки, обеспечивает точность прогноза, превышающую точность наивного базового прогноза на 7–8% по метрикам MAE и RMSE, при этом более сложные ансамблевые модели не дают дополнительного выигрыша на выборке ограниченного объёма. Полученный результат согласуется с более широкими данными зарубежных исследований, показывающими, что при малом числе исторических наблюдений простые интерпретируемые модели могут превосходить сложные по точности и устойчивости прогноза.

Ключевым ограничением исследования является использование открытого датасета общемедицинского, а не стоматологического профиля, а также короткий период наблюдения (27 дат), не позволяющий учесть более длительные сезонные циклы нагрузки. Данное ограничение не позволяет напрямую переносить количественные результаты (значения MAE, RMSE, MAPE) на стоматологическую клинику, однако разработанная методика построения панели «точка оказания услуг – день», состав признаков без утечки данных из будущего и схема сравнения моделей являются переносимыми и могут быть применены к данным конкретной стоматологической организации при их появлении в распоряжении автора. Дальнейшее направление исследования состоит в валидации предложенной модели на данных стоматологической клиники с расширенным набором признаков, специфичных для стоматологической практики.

Список литературы

1. Klute B., Homb A., Chen W., Furst J.W., Lohse C., Adams T., Awasthi S., Buekers T., Naessens J.M. Predicting Outpatient Appointment Demand Using Machine Learning and Traditional Methods // Journal of Medical Systems. 2019. Vol. 43. Art. 288. DOI: 10.1007/s10916-019-1418-y.

2. Susnjak T., Maddigan P. Forecasting patient demand at urgent care clinics using explainable machine learning // CAAI Transactions on Intelligence Technology. 2023. Vol. 8, № 3. P. 712–733. DOI: 10.1049/cit2.12258.

3. Zhou L., Zhu Q., Chen Q., Wang P., Huang H. Predicting hospital outpatient volume using XGBoost: a machine learning approach // Scientific Reports. 2025. Vol. 15, № 1. P. 1–13. DOI: 10.1038/s41598-025-01265-y.

4. Alabdulkarim Y., Almukaynizi M., Alameer A., Makanati B., Althumairy R., Almaslukh A. Predicting no-shows for dental appointments // PeerJ Computer Science. 2022. Vol. 8. Art. e1147. DOI: 10.7717/peerj-cs.1147.

5. Khashwayn S., Bakhashwayn M., Alsubaie A. Managing Dental Appointment No-Shows: A Systematic Review of Machine Learning Applications // International Dental Journal. 2026. DOI: 10.1016/j.identj.2026.03.024.

6. Almutairi T.H., Olatunji S.O. The utilization of AI in healthcare to predict no-shows for dental appointments: A case study conducted in Saudi Arabia // Informatics in Medicine Unlocked. 2024. Vol. 46. Art. 101472. DOI: 10.1016/j.imu.2024.101472.

7. Medical Appointment No Shows: 110527 medical appointments, 14 associated variables [Электронный ресурс] // Kaggle. 2016. URL: https://www.kaggle.com/datasets/joniarroba/noshowappointments (дата обращения: 18.08.2026).

8. Elvira C., Ochoa A., Gonzalvez J.C., Mochón F. Machine-Learning-Based No Show Prediction in Outpatient Visits // International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence. 2018. Vol. 4, № 7. P. 29–34. DOI: 10.9781/ijimai.2018.475.

9. Гилева Т.А. Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2019. № 1 (27). С. 38–52. DOI: 10.17122/2541-8904-2019-1-27-38-52.

УДК 004.8:519.85:614.2

МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ РАСПИСАНИЯ ЗАПИСИ В СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ КЛИНИКЕ С УЧЁТОМ ВЕРОЯТНОСТИ НЕЯВКИ ПАЦИЕНТОВ

Латыпова Ф.И., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-6525-3185

A DECISION-SUPPORT MODEL FOR APPOINTMENT SCHEDULING IN A DENTAL CLINIC ACCOUNTING FOR PATIENT NO-SHOW PROBABILITY

Latypova F.I., student of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-6525-3185

Аннотация

Точный прогноз числа пациентов сам по себе не гарантирует эффективного управления медицинской организацией: между аналитическим результатом и управленческим действием необходим механизм, переводящий прогноз в конкретное решение о числе открываемых слотов записи. Целью статьи является разработка модели поддержки принятия решений, которая на основе эмпирической вероятности неявки пациента формирует правило овербукинга записи – управленческого приёма, позволяющего компенсировать потери мощности медицинской организации от неявок за счёт превышения номинального числа записей над номинальной пропускной способностью. Научная и практическая значимость работы состоит в том, что предложенная модель реализует уровень поддержки принятия решений в многоуровневой архитектуре интеллектуальной системы управления цифровой экосистемой предприятия, описанной в литературе, и переводит результат аналитического моделирования в исполнимое управленческое правило. Методология исследования основана на биномиальной вероятностной модели фактической явки пациентов при заданном числе записанных слотов и минимизации ожидаемых издержек, учитывающих как простой мощности при недостаточной записи, так и перегрузку при избыточной записи; эмпирическая вероятность неявки (20,19%) рассчитана на реальном массиве из 110 527 записей на приём. Результаты численного эксперимента показывают, что при номинальной пропускной способности организации в 12 пациентов в день оптимальное число записываемых слотов составляет 14 (превышение на 16,7%) и является устойчивым к изменению соотношения издержек перегрузки и простоя в диапазоне от 2 до 3; применение оптимального овербукинга снижает ожидаемые издержки на 27–37% по сравнению со стратегией записи строго по номинальной мощности. Предложенное правило может быть реализовано в виде простого расчётного модуля, встраиваемого в систему управления записью медицинской, в том числе стоматологической, организации, и представляет собой конкретный пример уровня поддержки принятия решений интеллектуальной архитектуры цифровой экосистемы предприятия.

Ключевые слова: поддержка принятия решений; интеллектуальная система управления; цифровая экосистема предприятия; овербукинг; вероятность неявки; стоматологическая

клиника; биномиальное распределение; управление расписанием; оптимизация; здравоохранение

Abstract

An accurate patient-count forecast alone does not guarantee effective management of a medical organization: a mechanism is required to translate the analytical result into a concrete decision about how many appointment slots to open. The purpose of this article is to develop a decision-support model that uses the empirical probability of patient no-show to derive an appointment overbooking rule, a managerial practice that compensates for capacity losses caused by no-shows by booking more appointments than the nominal service capacity. The scientific and practical relevance of the study is that the proposed model implements the decision-support layer of the multi-layer intelligent management system architecture for an enterprise's digital ecosystem described in the literature, translating an analytical result into an executable managerial rule. The research methodology is based on a binomial probabilistic model of actual patient arrivals given a chosen number of booked slots, combined with minimization of expected costs that account for both idle capacity from under-booking and overflow from over-booking; the empirical no-show probability (20.19%) was estimated from a real array of 110,527 appointment records. The numerical experiment shows that, given a nominal service capacity of 12 patients per day, the optimal number of booked slots is 14 (a 16.7% overbooking margin) and is robust to changes in the overflow-to-idle cost ratio within the range of 2 to 3; applying the optimal overbooking rule reduces expected costs by 27-37% compared with booking strictly at nominal capacity. The proposed rule can be implemented as a simple calculation module embedded in the scheduling system of a medical, including dental, organization, and represents a concrete example of the decision-support layer of the intelligent architecture of an enterprise's digital ecosystem.

Keywords: decision support; intelligent management system; digital enterprise ecosystem; overbooking; no-show probability; dental clinic; binomial distribution; schedule management; optimization; healthcare

Введение

Управление медицинской, в том числе стоматологической, организацией требует не только точного прогноза ожидаемого числа пациентов, но и перевода этого прогноза в конкретное операционное решение – число слотов записи, которое следует открыть на определённый день. Прогноз нагрузки медицинской организации может быть получен методами статистического анализа временных рядов или машинного обучения на основе исторических данных записи [1], однако сам по себе он не является управленческим решением: результат аналитического моделирования приобретает практическую ценность только тогда, когда он преобразован в исполнимое правило на уровне поддержки принятия решений – одном из элементов многоуровневой архитектуры интеллектуального управления цифровой экосистемой предприятия, закрепившейся в литературе по цифровой трансформации [2]. Между результатом прогноза и конкретным действием необходим механизм, учитывающий стохастическую природу явки пациентов.

Классическим инструментом компенсации потерь мощности медицинской организации от неявок является овербукинг записи – сознательное превышение номинальной пропускной способности при формировании расписания. Зарубежные исследования в области исследования операций предложили ряд моделей овербукинга, минимизирующих взвешенную сумму издержек простоя персонала и оборудования и издержек перегрузки, связанных с ожиданием пациентов и сверхурочной работой персонала [3; 4; 5], а более поздние работы интегрируют в такие модели индивидуальные вероятности неявки, оцененные методами машинного обучения [6; 7]. Вместе с тем большинство таких моделей ориентировано на крупные медицинские организации с развитой аналитической инфраструктурой, тогда как для неболь-

ших организаций, включая стоматологические клиники, востребованы более простые и интерпретируемые правила, пригодные для встраивания в существующие системы записи без сложной вычислительной инфраструктуры. Целью данной статьи является разработка такого правила – модели поддержки принятия решений, которая на основе эмпирической вероятности неявки пациента и номинальной пропускной способности организации определяет оптимальное число слотов записи, минимизирующее ожидаемые издержки.

Методика

В качестве эмпирической оценки вероятности неявки пациента использован открытый массив данных о записи на амбулаторный приём в системе здравоохранения города Витория (Бразилия), содержащий 110 527 записей [8]. Доля неявок в массиве составила 20,19%; данное значение принято в качестве оценки вероятности неявки p для последующего моделирования.

Число пациентов, фактически явившихся на приём при условии, что записано S слотов, моделируется биномиальным распределением: $X \sim \text{Binomial}(S, 1 - p)$, где $1 - p$ – вероятность явки отдельного пациента, а записи предполагаются независимыми. Для заданной номинальной пропускной способности организации C (число пациентов, которое может быть обслужено за день без превышения нормативной нагрузки на персонал и оборудование) определены две составляющие издержек: издержки простоя – при $X < C$ часть номинальной мощности остаётся неиспользованной; издержки перегрузки – при $X > C$ возникают дополнительные затраты, связанные с ожиданием пациентов и сверхурочной работой персонала. Ожидаемые суммарные издержки при заданном числе записанных слотов S рассчитываются как $E[\text{Cost}(S)] = Cu \cdot E[\max(C - X, 0)] + Co \cdot E[\max(X - C, 0)]$, где Cu – удельная издержка простоя одного слота, Co – удельная издержка одного случая перегрузки.

В качестве иллюстративного примера принята номинальная пропускная способность $C = 12$ пациентов в день, соответствующая небольшой стоматологической клинике или отдельному кабинету/врачу; конкретное значение C в практическом применении определяется числом кресел и рабочих часов персонала конкретной организации. Соотношение издержек Co/Cu рассмотрено в двух сценариях – 2 и 3, отражающих типичный для литературы диапазон, в котором издержки перегрузки (ожидание пациентов, сверхурочная работа) оцениваются как превышающие издержки простоя в 2–3 раза; данные параметры носят иллюстративный характер и подлежат калибровке по данным конкретной организации при практическом внедрении. Для каждого значения S от C до C + 6 рассчитаны: ожидаемое число явившихся пациентов, вероятность превышения номинальной мощности и ожидаемые издержки; оптимальным принято значение S, минимизирующее ожидаемые издержки.

Основная часть

Постановка задачи принятия решений

Модель овербукинга, рассматриваемая в настоящей статье, реализует уровень поддержки принятия решений в многоуровневой архитектуре интеллектуального управления цифровой экосистемой предприятия [2]. Входным параметром модели служит прогнозируемая нагрузка организации – ожидаемое число пациентов, которое может быть получено, например, методами статистического анализа временных рядов или машинного обучения на основе исторических данных записи [1]; выходом модели – конкретная управленческая рекомендация: число слотов записи, которое следует открыть на определённый день для определённой точки оказания услуг. Такая последовательность «данные → аналитика → решение» соответствует общей логике интеллектуальных систем управления цифровыми экосистемами предприятий, в которых аналитический результат не считается самостоятельной ценностью, а рассматривается как основание для формирования исполнимого правила [2].

Результаты численного эксперимента

Результаты расчёта ожидаемого числа явившихся пациентов, вероятности перегрузки и ожидаемых издержек для различного числа записанных слотов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчёта модели овербукинга (C = 12, p = 0,2019)

S (слотов записи)	E[показавшихся], чел.	P(перегрузка)	E[затраты], Co/Cu=2	E[затраты], Co/Cu=3
12	9,58	0,000	2,423	2,423
13	10,38	0,053	1,785	1,838
14	11,17	0,193	1,534*	1,770*
15	11,97	0,391	1,791	2,379
16	12,77	0,591	2,528	3,627

* – минимальные ожидаемые издержки (оптимальное решение) для соответствующего сценария Co/Cu.

Расчёты показывают, что при отсутствии овербукинга (S = 12, запись строго по номинальной мощности) ожидаемое число фактически явившихся пациентов составляет всего 9,58 человека, то есть более 20% номинальной мощности организации систематически простаивает из-за неявок, а ожидаемые издержки простоя составляют 2,423 условных единицы. Оптимальное число записываемых слотов составило 14 (превышение номинальной мощности на 16,7%) и оказалось одинаковым для обоих рассмотренных сценариев соотношения издержек (Co/Cu = 2 и Co/Cu = 3), что свидетельствует об устойчивости решения к неточной калибровке издержек в этом диапазоне. При оптимальном значении S = 14 ожидаемые издержки снижаются до 1,534 (сценарий Co/Cu = 2, снижение на 36,7% относительно записи без овербукинга) и до 1,770 (сценарий Co/Cu = 3, снижение на 26,9%). Вероятность превышения номинальной мощности при оптимальном решении составляет 19,3%, что является приемлемым уровнем риска перегрузки при данных параметрах модели и может быть скорректировано в сторону более консервативного решения (например, S = 13) при более высокой чувствительности организации к перегрузке.

Практическое применение и встраивание в цифровую экосистему клиники

Предложенное правило требует только двух входных параметров: номинальной пропускной способности организации (известна из штатного расписания и организации рабочих мест) и эмпирической вероятности неявки (оценивается по историческим данным CRM-системы или системы управления записью). Это позволяет реализовать модель в виде простого расчётного модуля или таблицы соответствия «номинальная мощность → оптимальное число слотов», не требующего от персонала клиники специальной аналитической квалификации, и встроить его в существующую систему управления записью в качестве интеллектуальной надстройки. Для стоматологической клиники, ведущей несколько направлений записи (первичный приём, повторное лечение, консультации), модель может применяться отдельно для каждого направления с собственной оценкой вероятности неявки, поскольку вероятность неявки существенно варьируется в зависимости от типа приёма и характеристик пациента [6; 7].

Выводы

В результате исследования разработана и численно апробирована модель поддержки принятия решений по формированию расписания записи медицинской организации с учётом вероятности неявки пациентов. Показано, что оптимальное число записываемых слотов при номинальной пропускной способности 12 пациентов в день и эмпирической вероятности неявки 20,19% составляет 14, что обеспечивает снижение ожидаемых издержек на 27–37% по сравнению со стратегией записи строго по номинальной мощности, а решение устойчиво к вариации соотношения издержек перегрузки и простоя в правдоподобном диапазоне.

Предложенная модель представляет собой конкретный, эмпирически апробированный пример реализации уровня поддержки принятия решений в архитектуре интеллектуального

управления цифровой экосистемой предприятия – компонент, преобразующий вероятностную оценку неявки пациентов в исполнимое операционное правило. Ограничением исследования является иллюстративный характер параметров номинальной мощности и соотношения издержек, использование данных общемедицинского, а не стоматологического профиля, а также предположение о независимости неявок отдельных пациентов. Дальнейшее развитие модели предполагает её калибровку на данных конкретной стоматологической клиники, учёт неоднородности вероятности неявки по типам приёма и переход от статической к динамической постановке задачи, учитывающей поступление записей в течение периода планирования.

Список литературы

1. Klute B., Homb A., Chen W., Furst J.W., Lohse C., Adams T., Awasthi S., Buekers T., Naessens J.M. Predicting Outpatient Appointment Demand Using Machine Learning and Traditional Methods // Journal of Medical Systems. 2019. Vol. 43. Art. 288. DOI: 10.1007/s10916-019-1418-y.

2. Pattij M., van de Wetering R., Kusters R. Enhanced digital transformation supporting capabilities through enterprise architecture management: A fsQCA perspective // Digital Business. 2022. Vol. 2, № 2. Art. 100036. DOI: 10.1016/j.digbus.2022.100036.

3. LaGanga L.R., Lawrence S.R. Clinic overbooking to improve patient access and increase provider productivity // Decision Sciences. 2007. Vol. 38, № 2. P. 251–276.

4. LaGanga L.R., Lawrence S.R. Appointment overbooking in health care clinics to improve patient service and clinic performance // Production and Operations Management. 2012. Vol. 21, № 5. P. 874–888. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2011.01308.x.

5. Zacharias C., Pinedo M. Appointment Scheduling with No-Shows and Overbooking // Production and Operations Management. 2014. Vol. 23, № 5. P. 788–801. DOI: 10.1111/poms.12065.

6. Topuz K., Urban T.L., Russell R.A., Yildirim M.B. Decision support system for appointment scheduling and overbooking under patient no-show behavior // Annals of Operations Research. 2024. Vol. 342, № 1. P. 845–873. DOI: 10.1007/s10479-023-05799-0.

7. Valenzuela-Nunez C., Latorre-Nunez G., Troncoso-Espinosa F. Smart Medical Appointment Scheduling: Optimization, Machine Learning, and Overbooking to Enhance Resource Utilization // IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 7551–7562. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3349953.

8. Medical Appointment No Shows: 110527 medical appointments, 14 associated variables [Электронный ресурс] // Kaggle. 2016. URL: https://www.kaggle.com/datasets/joniarroba/noshowappointments (дата обращения: 18.08.2026).

УДК 004.8:658.011.56

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К АРХИТЕКТУРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМОЙ МНОГОПРОФИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Латыпова Ф.И., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0005-6525-3185

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE ARCHITECTURE OF INTELLIGENT MANAGEMENT SYSTEMS FOR THE DIGITAL ECOSYSTEM OF A MULTI-PROFILE ENTERPRISE

Latypova F.I., student of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0005-6525-3185

Аннотация

Цифровая трансформация предприятий приводит к формированию цифровых экосистем – взаимосвязанных сетей данных, платформ и сервисов, объединяющих компанию с клиентами, партнёрами и внутренними подразделениями. Особую сложность управление такой экосистемой представляет для многопрофильных предприятий, совмещающих несколько направлений деятельности: продажу продукции, логистику, обучение и оказание услуг. Целью статьи является систематизация теоретических подходов к архитектуре интеллектуальных систем управления цифровой экосистемой предприятия и разработка обобщённой концептуальной модели, применимой к многопрофильным предприятиям сферы медицинских услуг, в том числе стоматологического профиля. Научная и практическая значимость исследования состоит в восполнении пробела, связанного с недостаточной проработанностью архитектурных моделей интеллектуального управления для сервисных и медицинских многопрофильных предприятий, тогда как большинство существующих работ ориентировано на промышленный сектор. Методология исследования основана на структурированном обзоре и сравнительно-типологическом анализе публикаций российских и зарубежных авторов за период с 1993 по 2025 год, посвящённых архитектуре цифровых экосистем, оценке цифровой и интеллектуальной зрелости предприятий, а также интеграции искусственного интеллекта в системы управления взаимоотношениями с клиентами. Основным результатом исследования стала четырёхуровневая концептуальная модель интеллектуальной системы управления цифровой экосистемой предприятия, включающая уровень данных, уровень аналитики и искусственного интеллекта, уровень поддержки принятия решений и уровень кросс-функциональной интеграции. Показано, что именно кросс-функциональный уровень, обеспечивающий использование данных одного бизнес-направления для поддержки решений в другом, отличает интеллектуальную систему управления экосистемой от набора изолированных аналитических инструментов. Предложенная модель может служить теоретической основой для последующей разработки прикладных интеллектуальных решений на данных систем управления взаимоотношениями с клиентами конкретных многопрофильных предприятий.

Ключевые слова: цифровая экосистема предприятия; интеллектуальные системы управления; архитектура информационных систем; искусственный интеллект; управление бизнес-процессами; многопрофильное предприятие; система управления взаимоотношениями с клиентами; цифровая трансформация; поддержка принятия решений; цифровая зрелость

Abstract

Digital transformation drives enterprises toward digital ecosystems – interconnected networks of data, platforms and services that link a company with its customers, partners and internal units. Managing such an ecosystem is particularly complex for multi-profile enterprises that combine several lines of business, such as product sales, logistics, staff and customer training, and service delivery. The purpose of this article is to systematize theoretical approaches to the architecture of intelligent management systems for an enterprise's digital ecosystem and to develop a generalized conceptual model applicable to multi-profile enterprises in the medical services sector, including dental businesses. The scientific and practical relevance of the study lies in addressing the gap in architectural models of intelligent management for service-oriented and medical multi-profile enterprises, since most existing research focuses on industrial enterprises. The research methodology is based on a structured review and comparative-typological analysis of Russian and international publications from 1993 to 2025 devoted to digital ecosystem architecture, assessment of digital and intelligent maturity, and the integration of artificial intelligence into customer relationship management systems. The main result of the study is a four-layer conceptual model of an intelligent management system for an enterprise's digital ecosystem, comprising a data layer, an analytics and artificial intelligence layer, a decision-support layer, and a cross-functional integration layer. It is shown that the cross-functional layer, which enables data from one business area to support decisions in another, is what distinguishes an

intelligent ecosystem management system from a set of isolated analytical tools. The proposed model can serve as a theoretical basis for the subsequent development of applied intelligent solutions based on customer relationship management data of specific multi-profile enterprises.

Keywords: digital enterprise ecosystem; intelligent management systems; information systems architecture; artificial intelligence; business process management; multi-profile enterprise; customer relationship management; digital transformation; decision support; digital maturity

Введение

Цифровая трансформация меняет не только отдельные бизнес-процессы предприятий, но и саму логику их организации: вместо изолированных информационных систем формируется целостная цифровая экосистема, объединяющая данные, сервисы и участников взаимодействия в единую сетевую структуру [1]. Особенно заметно это в компаниях, совмещающих несколько направлений деятельности – продажу продукции, логистику, обучение персонала и клиентов, а также оказание услуг конечному потребителю. Для таких многопрофильных предприятий, характерных, в частности, для медицинского и стоматологического бизнеса, управление цифровой экосистемой требует не просто автоматизации отдельных процессов, а построения интеллектуальных систем, способных анализировать разнородные данные и поддерживать принятие решений на стыке нескольких бизнес-юнитов.

Несмотря на растущий интерес исследователей к архитектуре цифровых экосистем предприятий [1, 2] и к оценке их интеллектуально-цифровой зрелости [3, 4], значительная часть работ ориентирована на промышленные предприятия и крупные корпорации, тогда как специфика малых и средних многопрофильных предприятий сферы услуг остаётся малоизученной. Целью статьи является систематизация теоретических подходов к архитектуре интеллектуальных систем управления цифровой экосистемой предприятия и разработка обобщённой концептуальной модели, применимой к многопрофильным предприятиям сферы медицинских услуг.

Методика

Настоящее исследование носит теоретико-методологический характер и построено на методах структурированного обзора и сравнительно-типологического анализа литературы. Эмпирическую базу составили публикации в рецензируемых российских и зарубежных изданиях за период с 1993 по 2025 г., посвящённые архитектуре цифровых экосистем, управлению цифровой и интеллектуальной зрелостью предприятий, а также интеграции искусственного интеллекта (ИИ) в системы управления взаимоотношениями с клиентами (далее – CRM, от англ. Customer Relationship Management). Отбор источников осуществлялся по следующим критериям: наличие цифрового идентификатора объекта (DOI) или индексации в международных наукометрических базах; релевантность тематике цифровых экосистем и интеллектуального управления; публикация в рецензируемых изданиях. На основе анализа отобранных источников проведена систематизация подходов к определению цифровой экосистемы предприятия, выявлены общие архитектурные принципы построения интеллектуальных систем управления и синтезирована обобщённая четырёхуровневая концептуальная модель, адаптированная к специфике многопрофильных предприятий сферы медицинских услуг.

Основная часть

Понятие и признаки цифровой экосистемы предприятия

Идея рассматривать предприятие не как изолированную организационную единицу, а как часть взаимосвязанной сети партнёров, поставщиков и потребителей восходит к концепции бизнес-экосистемы: успех компании определяется не только её собственными усилиями, но и способностью развиваться согласованно с остальными участниками сети вокруг общей ценности [5]. С развитием цифровых технологий эта идея трансформировалась в понятие цифровой экосистемы предприятия – совокупности связанных цифровых платформ, сервисов и данных, обеспечивающих взаимодействие компании с клиентами, партнёрами

и внутренними подразделениями в едином информационном контуре [1]. Ключевым отличием цифровой экосистемы от традиционной информационной инфраструктуры является не набор технологий сам по себе, а способность системы к самоорганизации и адаптации на основе анализа данных, поступающих из разных источников [6].

Для многопрофильных предприятий – то есть компаний, совмещающих несколько направлений деятельности, – цифровая экосистема приобретает дополнительное измерение: она должна объединять данные разнородных бизнес-процессов, каждый из которых может иметь собственную логику и метрики эффективности, в единую среду принятия решений.

Интеллектуальные системы управления: сущность, функции и уровни зрелости

Интеллектуальная система управления цифровой экосистемой представляет собой надстройку над традиционными информационными системами, использующую методы анализа данных, машинного обучения и автоматизированной поддержки принятия решений для повышения эффективности управления бизнес-процессами. В отличие от классических систем учёта и мониторинга, интеллектуальные системы способны не только фиксировать состояние процессов, но и прогнозировать их развитие, выявлять закономерности и предлагать варианты управленческих решений.

Развитие таких систем принято описывать через понятие цифровой и интеллектуальной зрелости предприятия. Цифровая зрелость определяется как способность организации эффективно использовать цифровые технологии для создания ценности, при этом выделяется несколько уровней – от базовой автоматизации до полной интеграции данных в контур управления [4]. Более поздние исследования дополняют эту модель понятием интеллектуально-цифровой зрелости, объединяющей когнитивный, цифровой и собственно интеллектуальный контуры развития экосистемы, и показывают, что переход от инфраструктурной цифровизации к интеллектуально-цифровому управлению требует согласованного развития всех трёх контуров одновременно [3]. Важным дополнением к этой логике служит рассмотрение управления архитектурой предприятия как динамической управленческой способности: эмпирические исследования показывают, что устойчивое повышение технических и стратегических IT-возможностей организации определяется именно изменениями, инициируемыми самой функцией управления архитектурой, а не разовыми технологическими внедрениями [7].

Архитектурные модели интеграции интеллектуальных сервисов в цифровую экосистему

Систематический обзор архитектурных подходов к цифровым бизнес-экосистемам показывает, что большинство исследованных моделей описываются через многоуровневую структуру, включающую уровень данных, уровень обмена данными, уровень платформы взаимодействия и бизнес-уровень [2]. Применительно к интеллектуальным системам управления эта логика может быть расширена до четырёхуровневой архитектуры:

1) уровень данных – первичные данные из операционных систем (CRM, учётные и логистические системы, системы управления обучением);

2) уровень аналитики и искусственного интеллекта – модели обработки, прогнозирования и классификации данных;

3) уровень поддержки принятия решений – интерпретация результатов анализа в виде рекомендаций для конкретных бизнес-функций;

4) уровень кросс-функциональной интеграции – механизм, использующий результаты анализа одного бизнес-юнита (например, продаж) для формирования решений в другом (например, логистике или обучении).

Именно четвёртый уровень отличает интеллектуальную систему управления цифровой экосистемой от набора локальных аналитических инструментов: цифровые платформы и экосистемы, построенные на основе искусственного интеллекта, создают ценность именно за счёт связывания ранее разрозненных цифровых сервисов в единый контур [1].

Специфика многопрофильных предприятий сферы медицинских услуг

Особый интерес представляет применение описанной архитектуры к предприятиям медицинского, в частности стоматологического, профиля, совмещающим продажу оборудования, логистику, образовательную деятельность и оказание клинических услуг. Зарубежные исследования показывают, что интеграция искусственного интеллекта в CRM-системы здравоохранения повышает точность прогнозирования потребностей пациентов и клиентов и способствует развитию сервисных инноваций, однако формирование таких возможностей требует целенаправленного развития организационных, а не только технологических компетенций [8]. Социотехнический подход к экосистеме предприятия дополнительно подчёркивает, что взаимодействие между платформами управления цепочками поставок, ресурсами предприятия и взаимоотношениями с клиентами образует единый контур, в котором интеллектуальные сервисы должны согласовывать бизнес-аналитику, управление знаниями и работу с современными языковыми моделями [9].

Для предприятий стоматологического профиля это означает, что CRM-система, фиксирующая одновременно несколько воронок взаимодействия – с покупателями оборудования, заказчиками транспортных и логистических услуг, слушателями образовательных программ, – может выступать не только источником операционных данных, но и связующим звеном интеллектуальной архитектуры цифровой экосистемы предприятия в целом. Переход от промышленных к сервисным и медицинским многопрофильным предприятиям при этом сохраняет общую логику «smart»-экосистемы, описанную для промышленного сектора: синхронизацию процессов, использование аналитики для принятия решений на основе данных из разных источников и целенаправленное управление развитием самой экосистемы [6].

Выводы

Проведённый анализ показывает, что цифровая экосистема предприятия представляет собой не просто совокупность информационных систем, а самоорганизующуюся сеть данных и сервисов, эффективность управления которой определяется уровнем интеллектуально-цифровой зрелости организации. Предложенная в статье четырёхуровневая концептуальная модель – данные, аналитика и искусственный интеллект, поддержка принятия решений, кросс-функциональная интеграция – позволяет описать архитектуру интеллектуальной системы управления, применимую как к промышленным, так и к сервисным многопрофильным предприятиям. Ключевая теоретическая новизна предложенного подхода заключается в акценте на четвёртом, кросс-функциональном уровне архитектуры: именно способность использовать данные одного бизнес-направления для поддержки решений в другом отличает интеллектуальную систему управления цифровой экосистемой от набора изолированных аналитических инструментов.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенная модель может служить теоретической основой для последующей разработки прикладных интеллектуальных решений на базе реальных данных CRM многопрофильного предприятия медицинского профиля, включая построение моделей прогнозирования и скоринга сделок, а также механизмов кросс-функциональных рекомендаций. Дальнейшие исследования предполагается направить на эмпирическую апробацию предложенной архитектуры на данных конкретной воронки продаж.

Список литературы

1. Zimmermann A., Schmidt R., Jugel D., Möhring M. Evolution of Enterprise Architecture for Intelligent Digital Systems // Research Challenges in Information Science: RCIS 2020: Lecture Notes in Business Information Processing. Vol. 385. Cham: Springer, 2020. P. 145–153. DOI: 10.1007/978-3-030-50316-1_9.

2. Dolfsma W., Tekinerdogan B. Architecture and Governance of Digital Business Ecosystems: A Systematic Literature Review // Information Systems Management. 2023. Vol. 41, № 1. P. 45–65. DOI: 10.1080/10580530.2023.2194063.

3. Глухов В.В., Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. Концептуальный фреймворк для оценки и управления интеллектуальной зрелостью промышленных экосистем // Journal of New Economy. 2025. Т. 26, № 3. С. 105–123. DOI: 10.29141/2658-5081-2025-26-3-6.

4. Гилева Т.А. Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2019. № 1(27). С. 38–52. DOI: 10.17122/2541-8904-2019-1-27-38-52.

5. Moore J.F. Predators and Prey: A New Ecology of Competition // Harvard Business Review. 1993. Vol. 71, № 3. P. 75–86.

6. Майорова К.С., Балашова Е.С. Цифровой переход промышленных предприятий в «smart» экосистему // Экономика промышленности. 2021. Т. 14, № 4. С. 433–444. DOI: 10.17073/2072-1633-2021-4-433-444.

7. Pattij M., van de Wetering R., Kusters R. Enhanced digital transformation supporting capabilities through enterprise architecture management: A fsQCA perspective // Digital Business. 2022. Vol. 2, № 2. Art. 100036. DOI: 10.1016/j.digbus.2022.100036.

8. Kumar P., Sharma S.K., Dutot V. Artificial intelligence (AI)-enabled CRM capability in healthcare: The impact on service innovation // International Journal of Information Management. 2023. Vol. 69. Art. 102598. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2022.102598.

9. Jiménez L., Venegas F. Sociotechnical Approach to Enterprise Generative Artificial Intelligence (E-GenAI) [Электронный ресурс]. 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2409.17408 (дата обращения: 17.08.2026).

УДК 004.85:612.745.1

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВКАХ: СРАВНЕНИЕ РАСЧЁТНЫХ ФОРМУЛ И МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ

Миронова Д.С., студент;
ORCID: 0009-0003-7528-1193;
E-mail: dianam247@mail.ru;
Дудалова Е.А., научный руководитель, преподаватель кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
E-mail: edudalova@yandex.ru

ASSESSMENT OF ENERGY EXPENDITURE DURING RESISTANCE TRAINING: A COMPARISON OF CALCULATION FORMULAS AND MACHINE LEARNING MODELS USING OPEN DATA

Mironova D.S., student;
ORCID: 0009-0003-7528-1193;
E-mail: dianam247@mail.ru;
Dudalova E.A., Scientific Supervisor, Lecturer at the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
E-mail: edudalova@yandex.ru

Аннотация

Оценка энергозатрат при силовых тренировках остается сложной задачей, так как расход энергии определяется не только частотой сердечных сокращений (далее – ЧСС) и длительностью занятия, но и структурой нагрузки, которая включает рабочий вес, количество

подходов и повторений, продолжительность отдыха, уровень подготовленности и восстановительное потребление кислорода после упражнения. Цель работы заключается в сравнении традиционного формульного подхода и моделей машинного обучения при прогнозировании энергозатрат на открытых данных, а также в определении признаков, которые сильнее всего влияют на расчетную оценку калорийности силовой сессии. Для анализа была использована подвыборка из 258 тренировок типа Strength из набора Gym Members Exercise Dataset, а в качестве признаков рассматривались антропометрические показатели, пульсовые характеристики и параметры тренировочного занятия. Сравнивались три модели, а именно линейная регрессия, случайный лес и градиентный бустинг. Качество моделей оценивалось по средней абсолютной ошибке, среднеквадратической ошибке, коэффициенту детерминации и результатам пятикратной кросс валидации. Лучший результат показала линейная регрессия, для которой коэффициент детерминации составил 0,979, а средняя абсолютная ошибка – 27,5 килокалорий. Градиентный бустинг дал близкое качество, а случайный лес показал более высокую ошибку. Анализ перестановочной важности выявил, что прогноз почти полностью определяется длительностью сессии и средним пульсом, а масса тела, рост, индекс массы тела и пульс покоя имеют низкую значимость. Практическая значимость исследования состоит в том, что оно показывает ограниченность использования общедоступных фитнес данных без сведений о весах, подходах, повторениях и паузах отдыха. Это важно учитывать при использовании таких моделей. Полученные результаты показывают, что модель в основном воспроизводит расчетную зависимость, которая уже заложена в целевой переменной, поэтому для более точной оценки фактических энергозатрат необходимо создать собственный набор данных с параметрами силовой нагрузки и прямым измерением расхода энергии.

Ключевые слова: энергозатраты, силовая тренировка, анализ данных, машинное обучение, регрессия, важность признаков, частота сердечных сокращений

Abstract

Estimating energy expenditure during resistance training remains a complex task, as energy expenditure is determined not only by heart rate (HR) and session duration, but also by the load structure, which includes working weight, number of sets and repetitions, rest duration, training level, and excess post exercise oxygen consumption. The purpose of this study is to compare the traditional formula-based approach with machine learning models for predicting energy expenditure using open data, as well as to identify the features that most strongly influence the estimated caloric cost of a strength session. For the analysis, a subsample of 258 workouts of the “Strength” type from the Gym Members Exercise Dataset was used, and anthropometric indicators, heart rate characteristics, and training session parameters were considered as features. Three models were compared, namely linear regression, random forest, and gradient boosting. Model quality was assessed using mean absolute error, root mean squared error, coefficient of determination, and the results of five-fold cross-validation. The best performance was achieved by linear regression, with a coefficient of determination of 0.979 and a mean absolute error of 27.5 kilocalories. Gradient boosting produced similar quality, while random forest showed a higher error. The analysis of permutation importance revealed that the prediction is almost entirely determined by session duration and average heart rate, whereas body weight, height, body mass index, and resting heart rate have low significance. The practical significance of the study lies in demonstrating the limitations of using publicly available fitness data without information about weights, sets, repetitions, and rest intervals. This should be taken into account when deploying such models. The results indicate that the model essentially reproduces the calculated relationship already embedded in the target variable, therefore for more accurate estimation of actual energy expenditure, it is necessary to create a custom dataset that includes strength load parameters and direct energy expenditure measurements.

Keywords: energy expenditure, resistance training, data analysis, machine learning, regression, feature importance, heart rate

Сколько калорий уходит за силовую тренировку – вопрос, на который даже фитнес-браслет отвечает с заметной погрешностью. При сравнении нагрудного датчика Polar с лабораторным метаболографом среднее расхождение составило около 12%, а в отдельных случаях доходило до 33% [1]. У силовой работы ошибка обычно ещё больше. Пульс в подходе отражает не только расход энергии, но и натуживание, а немалая часть затрат приходится на анаэробный механизм и потребление кислорода уже после подхода (EPOC) [2]. Обычные формулы этот вклад не считают.

Целью данной работы является изучение признаков, которые сильнее всего влияют на расчетную оценку энергозатрат при силовой тренировке и проведение сравнительной оценки результатов, полученных с помощью машинного обучения и традиционных формул.

Точкой отсчёта для любых оценок служит непрямая калориметрия – расчёт энергозатрат по газообмену [3]; в спортивной медицине её применяют в форме эргоспирометрии при нагрузочном тестировании [4]. Метод точный, но требует маски, газоанализатора и лаборатории, поэтому в спортзале и домашних условиях он недоступен.

Вне лабораторных условий расход оценивают по пульсу. Для оценки используют формулу Кетле:

Для мужчин:

$$\text{ккал/мин} = \frac{-55{,}0969 + 0{,}6309 \cdot \text{ЧСС} + 0{,}1988 \cdot \text{Вес} + 0{,}2017 \cdot \text{Возраст}}{4{,}184}$$

Для женщин:

$$\text{ккал/мин} = \frac{-20{,}4022 + 0{,}4472 \cdot \text{ЧСС} - 0{,}1263 \cdot \text{Вес} + 0{,}0740 \cdot \text{Возраст}}{4{,}184}$$

Она связывает энергозатраты с ЧСС, массой, возрастом и полом [5]. Формула проста и удобна в использовании, но связь пульса с расходом индивидуальна и в силовой работе сбивается; отсюда и упомянутая погрешность трекеров [1].

Силовая тренировка требует комплексных расчетов, так как значительная доля её энергетической стоимости реализуется не во время выполнения упражнений, а в период восстановления и за счёт анаэробных механизмов. Кристофер Скотт в своем исследовании установил, что при коротких интенсивных подходах сумму восстановительного и анаэробного расхода можно сопоставить с энергозатратами непосредственно во время упражнения [2]. Величина итоговых затрат определяется параметрами нагрузки, а именно относительной интенсивностью, числом подходов и повторений, продолжительностью интервалов отдыха и режимом работы (до отказа или без него) [6, 7]. Единый усреднённый показатель (средняя ЧСС или табличное значение метаболического эквивалента – MET) не отражает этой структуры, так как усредняет именно те различия, которые формируют расход.

Еще один подход состоит в применении многопараметрических моделей. А. Е. Чиков совместно с коллегами сравнили линейную регрессию, случайный лес, градиентный бустинг и метод опорных векторов при моделировании физиологических показателей и не нашли универсально лучшего алгоритма [8]. Обзор Самойлова А. С. и коллег прослеживает рост прогностических моделей в спорте [9], а Абдрахманова И. В. и Лущик И. В. напоминают о корректном выборе статистических критериев на малых выборках [10]. Для спортивных данных это частая проблема.

Открытых наборов по силовым тренировкам с измеренными в лаборатории энергозатратами найти не удалось; большинство доступных «калорийных» датасетов собрано на смешанной или аэробной активности. Поэтому неясно, отражает ли модель, обученная на таких данных, реальную энергетическую стоимость силовой тренировки или она отражает лишь ту формулу, по которой посчитаны калории в наборе.

С учётом этого пробела расчёт выполняется на основе данных из открытого набора «Gym Members Exercise Dataset», содержащем 973 записи о посещениях зала. Так как цель – изучить расход энергии при силовой работе, оставлена только подвыборка с типом тренировки Strength, которая включает 258 наблюдений. Целевой величиной являются израсходованные за сессию килокалории. В признаки вошли 13 показателей трёх групп: антропометрия (возраст, пол, масса, рост, ИМТ, процент жира), пульсовые показатели (максимальная, средняя ЧСС, пульс покоя) и параметры занятия (длительность, потребление воды, частота тренировок, уровень подготовленности). Состав признаков ограничен тем, что в наборе данных отсутствуют рабочий вес, количество подходов и пауз отдыха.

Сравнивались три модели различной степени сложности: линейная регрессия, использованная в качестве базового алгоритма, случайный лес и градиентный бустинг. Выборка была разделена на обучающую и тестовую части в соотношении 75/25. Такое соотношение выбрано потому, что на обучение приходится 193 сессий, и этого достаточно, чтобы настроить модели. На тест остаётся около 65 сессий, что даёт устойчивую оценку метрик на данных, которые не участвовали в обучении. Если сделать тестовую часть меньше, оценка качества станет может стать ненадёжной. Если больше, то обучающая выборка сократится и модель недоучится. Дополнительно применялась пятиблочная кросс-валидация, что позволило снизить зависимость оценки качества моделей от одного случайного разбиения данных. Качество моделей оценивалось по трем метрикам, представленным следующими формулами:

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i|$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{y})^2}$$

где y_i – факт, $\hat{y}_i$ – прогноз, $\bar{y}$ – среднее, n – число наблюдений. MAE отвечает на вопрос «на сколько ккал модель обычно ошибается», RMSE заметнее реагирует на крупные промахи, R^2 показывает долю объяснённой дисперсии. Значимость признаков оценивалась с помощью перестановочной важности. Для этого значения одного признака случайно перемешивались, после чего оценивалось снижение точности модели. Расчёты выполнены с помощью Python и библиотеки scikit-learn.

Анализ показал, что средняя силовая сессия в подвыборке длилась 1,26 ч при среднем пульсе 144 уд/мин, а расход составил 910,7 ± 270,3 ккал (табл. 1). Разброс большой – от 350 до 1783 ккал, и это указывает на сильную зависимость от длительности.

Таблица 1

Описательная статистика подвыборки силовых тренировок

Показатель	Среднее	СКО	Мин	Медиана	Макс
Возраст, лет	38,95	12,08	18	39	59
Масса тела, кг	72,19	21,11	40	68,3	129,5
Средний пульс, уд/мин	144,31	15,08	120	145	169
Длительность сессии, ч	1,26	0,34	0,51	1,27	2,00
% жира	25,46	6,21	10	26,8	35
Калории за сессию, ккал	910,70	270,26	350	904,5	1783

Сравнение моделей дало неожиданный результат (табл. 2). Лучшей оказалась линейная регрессия: R^2 = 0,979 и MAE = 27,5 ккал. Градиентный бустинг почти повторил её (R^2 = 0,978), случайный лес показал более низкое качество (R^2 = 0,938, ошибка почти вдвое выше). Кросс-валидация (CV R^2) дала те же значения с разбросом не больше 0,01. Можно увидеть, что усложнение модели не повлияло на прирост качества.

Таблица 2

Сравнение регрессионных моделей

Модель	MAE, ккал	RMSE, ккал	R^2	CV R^2
Линейная регрессия	27,5	39,1	0,979	0,978
Случайный лес	48,8	67,4	0,938	0,935
Градиентный бустинг	29,5	39,6	0,978	0,978

Результаты сравнения становятся понятнее, если посмотреть, на что опираются модели (рис. 1). Перестановочная важность длительности сессии – 1,24, среднего пульса – 0,23, другие признаки имеют второстепенное значение. Возраст, процент жира и пол вносят небольшой вклад; масса тела, рост, ИМТ и пульс покоя почти не влияют. Со стороны физиологии это кажется странным, так как при одинаковой интенсивности и длительности тренировки человек с большей массой тела тратит больше калорий. Сопоставление прогнозных и фактических значений (рис. 2) показывает, что большая часть наблюдений находится рядом с диагональной линией, что может создать впечатление высокой точности модели, но дальнейший анализ показывает, что такая оценка требует осторожной интерпретации.

Такую точность можно объяснить тем, что данные, скорее всего, были посчитаны по формуле, зависящей от длительности и пульса. Тогда модель не открывает закономерность, а восстанавливает уже заложенную зависимость; этим же можно объяснить, почему ансамбли не дали лучших результатов, чем линейная регрессия [8]. Такое объяснение выглядит более убедительным, чем предположение о том, что реальные энергозатраты определяются только временем тренировки и пульсом. С физиологической точки зрения на расход энергии также влияет масса тела, поэтому ее низкая значимость в модели указывает на ограниченность используемых данных.

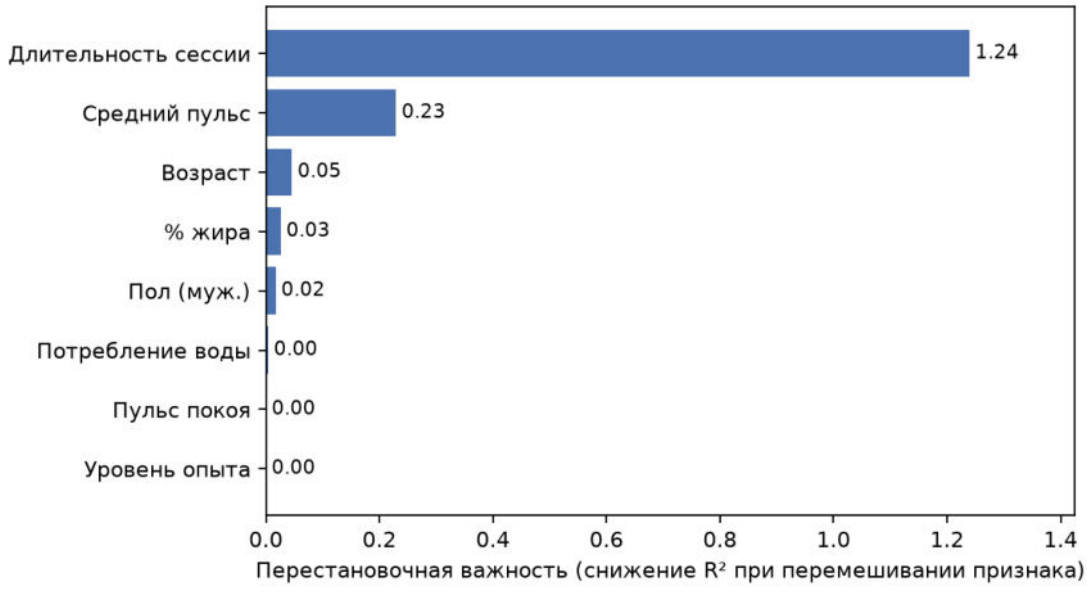


Рис. 1. Значимость факторов (перестановочная важность)

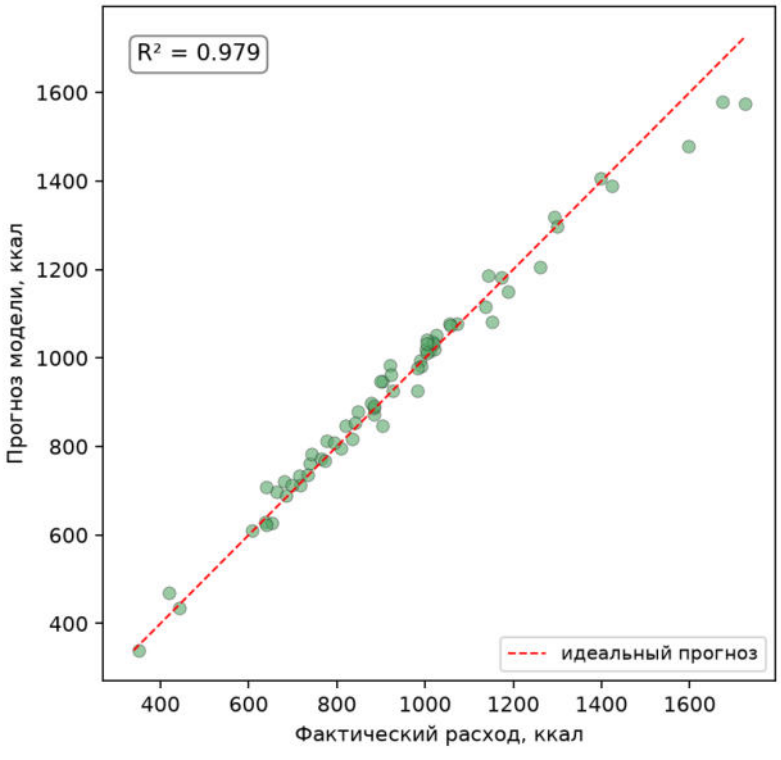


Рис. 2. Сопоставление прогноза модели и фактических значений

Полученный результат имеет ряд ограничений. Первое ограничение связано с тем, что целевая переменная не измерялась с помощью калориметрии, а была получена расчетным способом. Поэтому высокий R^2 скорее отражает воспроизведение исходной формулы, чем близость модели к истинным энергозатратам [3, 4]. Второе ограничение обусловлено составом признаков. В наборе данных отсутствуют ключевые для силовой работы переменные, включая интенсивность, тоннаж, паузы отдыха и показатели метаболического стресса [2, 6, 7]. Третье ограничение связано с объемом и составом выборки. Набор включает 258 наблюдений, полученных на посетителях спортзала, поэтому переносить выводы на спортсменов без дополнительной проверки нельзя [10]. Также нельзя исключать наличие грубой разметки типа тренировки в исходном наборе данных.

Из этого не следует, что машинное обучение для оценки энергозатрат при силовой тренировке бесполезно. Машинное обучение имело бы смысл, если бы модель обучалась на данных с признаками самой нагрузки и с эталонными измерениями, а не на калориях, заранее посчитанных по пульсу.

Для того чтобы собрать релевантные данные, в дальнейшем будет разработан сайт для внесения пользователями необходимой информации. Здесь пользователи смогут вносить статистику по разным типам тренировок, указывать рабочие мышцы, подходы, повторения, вес снарядов. На начальном этапе сайт позволит рассчитывать количество затраченных калорий по стандартным формулам и запросит у пользователя разрешение на сбор данных. По мере заполнения набора данных станет возможным построить модель, учитывающую не только длительность и пульс, но и структуру силовой нагрузки. Такой подход позволит перейти от воспроизведения расчетной формулы к более содержательной оценке энергозатрат при силовой тренировке.

Проведенный анализ показал, что высокая точность моделей на открытом наборе данных в основном связана с расчетным характером целевой переменной. Прогноз энергозатрат почти полностью определялся длительностью тренировки и средним пульсом, тогда как признаки, связанные с антропометрией и структурой нагрузки, имели низкую значимость.

Линейная регрессия показала качество, сопоставимое с более сложными моделями, поэтому для этого набора данных она является наиболее обоснованным вариантом. Однако полученные выводы нельзя напрямую переносить на реальные силовые тренировки, поскольку расход калорий не был измерен напрямую. Для дальнейшей работы необходим собственный набор данных с параметрами нагрузки и измеренными энергозатратами.

Список литературы

1. Антонов, А. Г. О точности определения затрат энергии носимым трекером активности Polar / А. Г. Антонов, В. Д. Выборнов, П. Д. Рыбакова, А. Б. Мирошников // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2022. – Т. 1, № 3. – DOI 10.51871/2782-6570_2022_01_03_1.

2. Scott, C. B. Quantifying the immediate recovery energy expenditure of resistance training / C. B. Scott // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2011. – Vol. 25, № 4. – P. 1159–1163.

3. Weir, J. B. de V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism / J. B. de V. Weir // The Journal of Physiology. – 1949. – Vol. 109, № 1–2. – P. 1–9. – DOI 10.1113/jphysiol.1949.sp004363.

4. Биктимирова, А. А. Применение кардиореспираторного нагрузочного тестирования в спортивной медицине / А. А. Биктимирова, Н. В. Рылова, А. С. Самойлов // Практическая медицина. – 2014. – № 3 (79). – С. 50–53.

5. Keytel, L. R. Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise / L. R. Keytel, J. H. Goedecke, T. D. Noakes [et al.] // Journal of Sports Sciences. – 2005. – Vol. 23, № 3. – P. 289–297. – DOI 10.1080/02640410470001730089.

6. Шевцов, А. В. Влияние кластерных сетов при тренировках с отягощениями на силовые показатели спортсменов: зонтичный обзор систематических обзоров и мета-анализов / А. В. Шевцов, А. В. Мештель, А. Б. Мирошников // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2024. – Т. 3, № 1. – DOI 10.24412/2782-6570-2024_03_01_9.

7. Быков, Е. В. Метаболические эффекты тренировок с ограничением кровотока / Е. В. Быков, В. В. Сверчков // Научные и образовательные основы в физической культуре и спорте. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 16–21. – DOI 10.57006/2782-3245-2024-14-2-16-21.

8. Чиков, А. Е. Моделирование физиологических показателей на уровне порога анаэробного обмена с использованием методов искусственного интеллекта / А. Е. Чиков, Е. А. Павлов, Н. А. Егоров [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2022. – Т. 22, № S2. – С. 46–53. – DOI 10.14529/hsm22s206.

9. Самойлов, А. С. Эволюция подходов к разработке моделей для прогнозирования, оценки и контроля параметров физической работоспособности профессиональных спортсменов (обзор) / А. С. Самойлов, В. В. Петрова, П. А. Шулепов // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9, № 2 (32). – С. 261–270. – DOI 10.24412/2588-0500-2025_09_02_33.

10. Абдрахманова, И. В. Особенности применения параметрических и непараметрических критериев при анализе данных в физической культуре и спорте / И. В. Абдрахманова, И. В. Лущик // Современные наукоёмкие технологии. – 2022. – № 10. – С. 102–106.

УДК 004

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Нестеренко М.А., аспирант ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
E-mail: nesterenko-mark-01@mail.ru

DIGITAL TRANSFORMATION AS A TOOL FOR IMPLEMENTING REGIONAL STRATEGIES FOR PHARMACEUTICAL INDUSTRY DEVELOPMENT AMIDST EXTERNAL ECONOMIC RESTRICTIONS

Nesterenko M.A., Postgraduate student, State Budgetary Educational Institution «Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan», Kazan, Russia;
E-mail: nesterenko-mark-01@mail.ru

Аннотация

В статье исследуется роль цифровой трансформации как инструмента реализации региональных стратегий развития фармацевтической отрасли в условиях внешних экономических ограничений. Актуальность работы обусловлена высокой импортозависимостью отрасли, которая в 2023 году составила 55,6%, и необходимостью адаптации региональных рынков лекарственных средств к санкционному давлению. В условиях, когда государство сместило акцент с экстенсивного расширения мощностей на устойчивость поставок и локализацию, традиционные подходы к региональному управлению отраслью теряют эффективность. Целью исследования является определение потенциала цифровых технологий как механизма компенсации региональных диспропорций в развитии фармацевтического сектора. В ходе анализа ключевых макроэкономических показателей за период 2019–2025 годов – индекса физического объёма ВВП, внутренних затрат на исследования и разработки, а также патентной активности по федеральным округам – выявлена выраженная территориальная дифференциация. Центральный федеральный округ лидирует по финансированию медицинских исследований (52 435,6 млн рублей) и патентной активности, Северо-Кавказский округ демонстрирует высокую долю медицинских исследований в структуре научных затрат (10,0%), тогда как Приволжский и Уральский округа характеризуются критически низким уровнем финансирования медицинской науки (1,9% и 1,2% соответственно). Показано, что в регионах со сложной логистикой и дефицитом исследовательских бюджетов цифровые инструменты – платформы управления цепочками поставок, предиктивная аналитика, удалённый доступ к базам данных и электронные патентные сервисы – выступают механизмом компенсации ресурсных ограничений. Результаты исследования подтверждают, что достижение технологического суверенитета фармацевтической отрасли требует отказа от унифицированных мер в пользу дифференцированных подходов, учитывающих научно-технологический потенциал каждого федерального округа. Сформулированные рекомендации могут быть использованы органами исполнительной власти при актуализации региональных программ развития отрасли, формировании адресных мер государственной поддержки и создании устойчивых моделей лекарственного обеспечения населения в условиях продолжающихся внешних ограничений.

Ключевые слова: фармацевтическая отрасль, цифровая трансформация, региональные стратегии, технологический суверенитет, федеральные округа, внешние экономические ограничения, импортозамещение, патентная активность

Abstract

The article examines the role of digital transformation as a tool for implementing regional development strategies for the pharmaceutical industry under conditions of external economic constraints. The relevance of the work is due to the high import dependence of the industry, which amounted to 55.6% in 2023, and the need to adapt regional markets for medicines to sanctions pressure. In conditions where the state has shifted its focus from extensive capacity expansion to supply stability and localization, traditional approaches to regional management of the industry are losing their effectiveness. The aim of the study is to determine the potential of digital technologies as a mechanism for compensating for regional imbalances in the development of the pharmaceutical sector. An analysis of key macroeconomic indicators for the period 2019–2025 – the index of the physical volume of GDP, domestic spending on research and development, and patent activity by federal districts – revealed pronounced territorial differentiation. The Central Federal District leads in terms of funding for medical research (52,435.6 million rubles) and patent activity. The North Caucasus Federal District demonstrates a high share of medical research in the structure of scientific expenditures (10.0%), while the Volga and Ural Federal Districts are characterized by critically low levels of funding for medical science (1.9% and 1.2%, respectively). It has been shown that in regions with complex logistics and a shortage of research budgets, digital tools – supply chain management platforms, predictive analytics, remote access to databases, and electronic patent services – serve as a mechanism for compensating for resource constraints. The study's results confirm that achieving technological sovereignty in the pharmaceutical industry requires abandoning uniform measures in favor of differentiated approaches that take into account the scientific and technological potential of each federal district. The formulated recommendations can be used by executive authorities when updating regional industry development programs, developing targeted state support measures, and creating sustainable models for providing the population with medicines in the context of ongoing external restrictions.

Keywords: pharmaceutical industry, digital transformation, regional strategies, technological sovereignty, federal districts, external economic restrictions, import substitution, patent activity

Фармацевтическая отрасль в России сегодня – это уже не просто один из промышленных секторов. Это стратегический элемент национальной безопасности, от которого напрямую зависит здоровье миллионов людей. И здесь возникает серьезная проблема: страна по-прежнему сильно зависит от импорта. По данным В.В. Доржиевой, уровень импортозависимости фармацевтической отрасли в 2023 году составил 55,6% [3]. Это цифра, которая говорит сама за себя. Более половины того, что нужно для производства лекарств, мы либо покупаем за рубежом, либо не производим вообще.

Ситуация с санкциями 2022-2023 годов только обострила эту проблему. Как отмечает та же Доржиева, в условиях внешнего давления государство было вынуждено сместить акцент. Раньше думали о том, как построить новые заводы и увеличить мощности. Теперь главная задача – обеспечить устойчивость поставок. То есть речь идет о закупках, логистике, параллельном импорте и локализации уже существующих продуктов [3]. Для регионов это означает совершенно новую реальность. Старые подходы к развитию отрасли просто перестали работать.

И вот здесь на первый план выходит цифровая трансформация. Она напрямую соотносится с задачами, которые поставлены в Распоряжении Правительства РФ от 7 июня 2023 г. № 1495-р «Об утверждении Стратегии развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» [5]. Документ этот серьезный, амбициозный. Он закрепляет курс на технологическую модернизацию. Но если посмотреть внимательно, становится понятно: как именно применять цифровые инструменты на региональном уровне, вопрос пока проработан слабо. Стратегия задает направление, но не дает пошаговой инструкции для каждого субъекта федерации.

Региональные фармрынки в России – это вообще отдельная история. Они очень разные. Где-то есть мощные производственные кластеры, где-то – только аптечные сети. Санкционное давление эту ситуацию только усугубило [6]. Раньше, когда все было относительно стабильно, региональные стратегии делали упор на строительство новых заводов. Логика была простая: больше производств – больше лекарств – лучше обеспечение. Сейчас фокус смещается. На первое место выходят бесперебойность поставок, глубокая локализация и, что важно, цифровая инфраструктура.

Исследователи отмечают интересную тенденцию. В ответ на внешние ограничения органы власти переориентируются. Они больше не гонятся за увеличением объемов производства любой ценой. Вместо этого они работают над устойчивостью логистики, над интеллектуальным управлением запасами [3]. Это структурный сдвиг, и он требует новых инструментов. Старые методы регулирования просто не справляются с новой реальностью. На первое место выходят цифровые платформы и работа с большими данными.

Цифровизация фармацевтической отрасли – это не просто установка компьютеров в аптеках. Это комплексный процесс, который затрагивает весь жизненный цикл препарата. От научных исследований и разработки до производства, дистрибуции и конечного потребления. Для региональных стратегий наиболее значимы несколько направлений. Во-первых, системы прослеживаемости. Во-вторых, платформы управления цепочками поставок. В-третьих, предиктивная аналитика. И, наконец, цифровые экосистемы, которые связывают регуляторов с бизнесом и медицинскими организациями.

Практика показывает, что цифровые инструменты действительно работают в условиях внешних шоков. Аналитические агентства указывают на интересный факт. Значимая часть стоимостного роста российского фармрынка в последние годы достигнута именно за счет цифровизации дистрибуции и оптимизации запасов. К 2025 году в отрасли насчитывалось 217 инвестиционных проектов с совокупным объемом 429 млрд рублей, причем подавляющая часть из них приходится на период 2023–2028 годов [4]. Цифровые решения сами по себе создали добавленную стоимость, позволив реализовать этот масштабный портфель проектов в условиях санкций.

Что конкретно дают эти решения? Они помогают выстраивать оптимальные логистические маршруты. Ускоряют доставку препаратов в отдаленные субъекты. Снижают потери от истечения сроков годности. Для регионов с большой территорией и низкой плотностью населения это критически важно. Представьте себе Якутию или Камчатку. Доставить туда лекарства вовремя – это уже задача. А сделать это эффективно, без потерь – задача вдвойне сложная.

Но есть и другая сторона медали. Распределение ресурсов на науку в России остается крайне неравномерным. Если посмотреть на данные Росстата за 2024 год, картина получается любопытная. Центральный федеральный округ лидирует по затратам на медицинские исследования. Там тратят 52 435,6 млн рублей, что составляет 5,4% от общих затрат на науку в округе. А вот в Приволжском и Уральском округах ситуация другая. Там доля медицинских исследований в общем объеме научного финансирования составляет всего 1,9% и 1,2% соответственно [1].

Это создает серьезную проблему. Регионы со сложной логистикой или дефицитом исследовательских бюджетов оказываются в невыгодном положении. У них нет ни денег на науку, ни инфраструктуры для разработок. И вот здесь цифровые инструменты становятся механизмом компенсации. Они позволяют повысить эффективность управления даже при ограниченных ресурсах. Можно не иметь собственной научной базы, но иметь доступ к данным, аналитике, прогнозам. Цифровые платформы нивелируют территориальное неравенство, давая отдаленным регионам те же инструменты управления, что и центральным.

Не менее показателен и анализ патентной активности. Данные Росстата за период с 2010 по 2024 год демонстрируют выраженную региональную дифференциацию. Центральный

и Сибирский федеральные округа традиционно лидируют по количеству поданных заявок и выданных патентов на изобретения. А вот Северо-Кавказский и Дальневосточный округа характеризуются хронически низким уровнем патентной активности [8]. Это напрямую коррелирует с дефицитом инновационной инфраструктуры и кадрового потенциала. Но именно в таких регионах цифровизация может стать катализатором инновационного развития: удаленный доступ к базам данных, виртуальные коллаборации между научными центрами, электронные патентные сервисы – все это снижает порог входа для регионов, которые раньше оставались в стороне от инновационных процессов.

Интересно, что в большинстве округов в последние годы наблюдается рост коэффициента успешности патентования. Например, в Южном федеральном округе этот показатель в 2020 г. достигал впечатляющих 95,4%, а в 2024 г. стабилизировался на уровне 82,3% [8]. Это косвенно свидетельствует об улучшении качества поданных заявок и работы локальных патентных служб. Цифровые инструменты здесь играют не последнюю роль: электронные базы prior art, системы автоматизированного поиска аналогов, онлайн-консультации с патентными поверенными – все это повышает качество заявок даже в регионах с ограниченным кадровым потенциалом.

Как же интегрировать цифровые решения в региональные стратегии? Опыт показывает, что это должно быть системно. Нельзя просто купить софт и считать, что цифровизация произошла. Начинать нужно с аудита. Что уже есть в регионе? Где «узкие места» в закупках, дистрибуции, отпуске препаратов? Без этого понимания любые инвестиции могут оказаться неэффективными.

Дальше – дорожная карта. Она должна учитывать специфику региона. Географию, эпидемиологическую обстановку, наличие местных производств. Это согласуется с позицией профильных ведомств. Приоритет сейчас – не строительство новых заводов, а переоснащение действующих мощностей и создание «продуктов на полку» [5]. То есть речь идет о том, чтобы то, что уже работает, работало лучше. И чтобы были страховые запасы на случай сбоев. Цифровые системы мониторинга остатков и предиктивного планирования как раз и решают эту задачу.

Финальный этап – это поэтапный запуск решений. Но не просто запуск, а с обязательной оценкой экономической отдачи. Нужно понимать, что работает, а что нет. Что дает эффект, а что остается просто красивой картинкой.

Опора на опыт передовых субъектов позволяет сформулировать конкретные рекомендации. Первое, создание единых региональных платформ лекарственного обеспечения. Не разрозненных систем, а именно единых. Второе, обучение кадров. Без людей, которые умеют работать с предиктивной аналитикой, даже самая совершенная система останется просто инструментом. Третье, вовлечение локальных производителей в цифровые экосистемы. Они должны быть частью процесса, а не оставаться в стороне.

Что дает комплексная цифровизация? По экспертным оценкам, она способна снизить дефицит жизненно важных препаратов на 15-20%, уменьшить логистические издержки и повысить прозрачность рынка [2]. В совокупности все это работает на достижение технологического суверенитета отрасли на местах.

Цифровые технологии переводят управление на другой уровень. Вместо ретроспективных экспертных оценок – объективные данные в реальном времени. Вместо реагирования на проблемы – их прогнозирование и предотвращение. Цифровая трансформация перестает быть просто технологическим трендом. Она становится базовым условием реализации региональных стратегий.

Но это требует усилий. Тиражирования лучших практик. Адресной государственной поддержки. Межрегионального взаимодействия. Один регион не может решить все проблемы в одиночку. Нужен обмен опытом, координация, совместные проекты. Только так можно достичь реального результата в условиях, когда внешние ограничения продолжают давить на отрасль.

Список литературы

1. Внутренние затраты на исследования и разработки по областям науки в разрезе федеральных округов в 2024 году // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2025.pdf.

2. Доржиева В.В. On the strategy for the development of the pharmaceutical industry and the formation of technological sovereignty of Russia // Journal of the Russian Chemical Society. – 2024. – № 6. – DOI: https://doi.org/10.31857/S0207367624060041.

3. Доржиева В.В. Фармацевтическая промышленность: последствия влияния международных санкций и результаты перезагрузки на технологическую независимость // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – № 12. – URL: https://1economic.ru/lib/120006

4. Инвестиционная активность в фармацевтической промышленности // Инвестиционно-аналитическое агентство ПКР. – URL: https://prcs.ru/reviews/investicionnaya-aktivnost-v-farmacevticheskoj-promyshlennosti/.

5. Минпромторг РФ. Основные стратегические приоритеты развития фармацевтики до 2030 года // Российская газета. – 2025. – 15 сентября. – URL: https://rg.ru/2025/09/15/otrasli-vypisali-recept.html.

6. Нестеренко М.А. состояние и динамика фармацевтической отрасли в российских регионах: сравнительный анализ цфо, пфо, сфо и дфо в условиях внешних экономических ограничений // М.А. Нестеренко // Экономика и управление: проблемы, решения, 2026 // Авторская рукопись.

7. О производстве и использовании валового внутреннего продукта в 2025 году // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/14_06-02-2026.html.

8. Поступление патентных заявок и выдача патентов на изобретения в России в период с 2010 по 2024 год // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2025.pdf.

УДК 614.2:004

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМ ЗДРАВООХРАНЕНИЕМ: ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Пантюхин Д.В., клинический ординатор ФГАОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, г. Москва;
Рыжкин С.А., д. м. н., доцент, член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан, заведующий кафедрой радиологии, радиотерапии радиационной гигиены и радиационной безопасности им. академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГАОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, профессор кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, профессор кафедры медицинской физики Института физики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань;
ORCID: 0000-0003-2595-353X;
Шибаева Н.А., д.э.н., доцент, профессор кафедры менеджмента, маркетинга и государственного управления ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел;
Фирсова О.А., к.э.н., доцент кафедры общественного здоровья, здравоохранения и гигиены ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия

DIGITAL TRANSFORMATION OF REGIONAL HEALTHCARE MANAGEMENT: EXPERIENCE AND PROSPECTS OF THE ORYOL REGION

Pantyukhin D.V., Clinical resident, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow;
Ryzhkin S.A., Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Head of the Department of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety named after Academicians A.S. Pavlov and F.G. Krotkov, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation; Professor at the Department of General Hygiene, Kazan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; Professor at the Department of Medical Physics, Institute of Physics, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan;
ORCID: 0000-0003-2595-353X;
Shibaeva N.A., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Management, Marketing and Public Administration, Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol;
Firsova O.A., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Public Health, Healthcare and Hygiene, Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы цифровой трансформации управления здравоохранением на региональном уровне на примере Орловской области. Обоснована необходимость перехода от традиционных бумажных методов управления к цифровым платформам, интегрирующим данные о ресурсах, пациентах и кадрах в режиме реального времени. Показано, что существующая система управления характеризуется фрагментарностью данных, запаздыванием отчётности, непрозрачностью распределения ресурсов и низкой доступностью медицинской помощи для сельского населения. На основе анализа статистических данных и отраслевых документов выделены семь ключевых вызовов, препятствующих повышению эффективности регионального здравоохранения.

Ключевые слова: цифровизация здравоохранения, управление здравоохранением, искусственный интеллект, телемедицина, прогнозная аналитика, маршрутизация пациентов, кадровый дефицит, эффективность

Abstract

The article addresses the pressing issues of digital transformation in healthcare management at the regional level, using the Oryol region as a case study. The necessity of transitioning from traditional paper-based management methods to digital platforms that integrate data on resources, patients, and personnel in real time is substantiated. It is shown that the current management system is characterized by data fragmentation, delayed reporting, opacity in resource allocation, and low accessibility of medical care for rural populations. Based on the analysis of statistical data and industry documents, seven key challenges hindering the efficiency improvement of regional healthcare are identified.

Keywords: digitalization of healthcare, healthcare management, artificial intelligence, telemedicine, predictive analytics, patient routing, staff shortage, efficiency

Введение

Управление здравоохранением на региональном уровне в Российской Федерации долгое время строилось на основе бумажной отчётности, плановых показателей и запаздывающей статистики. Эта модель, эффективная в условиях стабильных демографических и эпидемиологических трендов, сегодня всё чаще демонстрирует свою несостоятельность. Ключевое

противоречие заключается в том, что пациент уже стал «цифровым» – записывается через портал государственных услуг, пользуется телемедициной, носит фитнес-трекеры и ожидает мгновенного доступа к информации о своём здоровье, – тогда как система управления остаётся «аналоговой», оперируя дискретными, разрозненными данными, собираемыми вручную и с большим временным промежутком [2, 3, 4].

Особую остроту эта проблема приобретает в регионах с низкой плотностью населения, ограниченными бюджетными ресурсами и хроническим кадровым дефицитом. Орловская область, расположенная в Центральном федеральном округе, является типичным представителем таких регионов. По данным Департамента здравоохранения Орловской области, по состоянию на 2025 год потребность в медицинских кадрах составляла почти 800 специалистов (399 врачей и 393 сотрудника среднего звена), при этом укомплектованность врачами-специалистами едва достигала 55% [2]. Расходы на здравоохранение за последние восемь лет выросли в 3,3 раза и в 2025 году составили почти 13% от всех расходов областного бюджета, однако системные проблемы – очереди, нехватка узких специалистов, низкая доступность помощи в сельской местности – сохраняются. В 2025 году руководитель Департамента здравоохранения региона покинул свой пост после критики губернатора, связанной с жалобами на обеспечение льготными лекарствами и организацию закупок; более 1000 обращений поступило на прямую линию по вопросам лекарственного обеспечения. Эти факты наглядно свидетельствуют о необходимости кардинального пересмотра подходов к управлению [1, 2].

Цель настоящей работы – на основе анализа текущего состояния и лучших региональных практик обосновать направления цифровой трансформации управления здравоохранением в Орловской области и оценить потенциальные эффекты от их внедрения.

Методика

Исследование основано на комплексном анализе официальных статистических данных, отраслевых докладов, нормативно-правовых актов и научных публикаций, посвящённых цифровизации здравоохранения в России и за рубежом. Информационной базой послужили отчёты Департамента здравоохранения Орловской области, данные Росстата, материалы Министерства здравоохранения РФ, а также публикации в рецензируемых журналах по вопросам медицинской информатики и управления здравоохранением. Для сравнительного анализа использовались открытые данные о внедрении цифровых решений в субъектах Российской Федерации – г. Москве, Республике Татарстан, Ханты-Мансийском автономном округе и Липецкой области. Методология включала систематизацию вызовов регионального управления, выделение ключевых направлений цифровизации и оценку ожидаемых эффектов на основе логико-вероятностного моделирования. Применены методы сравнительного анализа, контент-анализа документов и синтеза управленческих решений.

Основная часть

1. Системные вызовы регионального управления здравоохранением

Анализ практики управления здравоохранением в Орловской области позволил выделить семь ключевых вызовов, которые не могут быть эффективно решены в рамках традиционной (бумажной) модели.

Вызов 1 – фрагментарность и разрозненность медицинских данных. Информация о пациентах, результатах лабораторных и инструментальных исследований, назначениях хранится в разных ведомственных системах, частью – на бумажных носителях. Отсутствие единого цифрового профиля пациента не позволяет врачу иметь полную картину здоровья, а управленцу – видеть реальную загрузку учреждений.

Вызов 2 – запаздывание и низкое качество управленческой отчётности. Сбор данных с медицинских организаций занимает от 5 до 10 дней, к моменту принятия решения информация устаревает. Ручные сводки содержат ошибки и пропуски, что делает невозможным оперативное реагирование на изменения ситуации.

Вызов 3 – непрозрачность реальной доступности помощи. Отсутствие системы в режиме реального времени для отслеживания занятости коечного фонда, расписаний врачей и записи на диагностику приводит к неравномерному распределению потоков пациентов и искусственным очередям.

Вызов 4 – неравномерность использования ресурсов. В одних отделениях наблюдается перегрузка, в других – простой оборудования. Отсутствие инструментов оперативного перераспределения (койко-мест, врачей, диагностических аппаратов) ведёт к неэффективному использованию бюджетных средств.

Вызов 5 – кадровый дефицит и невозможность прогнозирования. Текучесть кадров, выход на пенсию, переезды врачей в другие регионы не прогнозируются, штатные расписания корректируются с большим опозданием, что усугубляет нехватку специалистов.

Вызов 6 – рост ожиданий населения и снижение терпимости к очередям. Современный пациент требует сервиса, сравнимого с цифровыми платформами в других сферах; долгие очереди и бюрократические процедуры вызывают рост жалоб и снижение доверия к системе.

Вызов 7 – финансовые потери от неэффективного управления. Нецелевое использование средств обязательного медицинского страхования, перерасход бюджетов, предписания контролирующих органов – следствие отсутствия прозрачной привязки каждой услуги к конкретному пациенту и ресурсу.

Эти вызовы носят системный характер и не могут быть устранены точечными улучшениями – требуют смены управленческой парадигмы.

2. Цифровые технологии как инструмент преодоления вызовов

Цифровая трансформация предлагает принципиально иные подходы к каждому из обозначенных вызовов. Вместо «управления по факту» внедряется «управление по предвидению» на основе прогнозной аналитики; цикл принятия решений сжимается с недель до минут; каждый ресурс (койка, врач, аппарат, лекарство) становится отслеживаемым в реальном времени; усреднённые нормативы заменяются персонализированным планированием – например, не «средняя занятость койки 330 дней в году», а фактическая почасовая загрузка каждого отделения.

Ключевыми технологиями являются: единые интеграционные платформы, собирающие данные из всех источников; машинное обучение для прогнозирования госпитализаций, сезонных вспышек и потребности в кадрах; телемедицина и мобильные бригады для удалённых территорий; RFID-метки и датчики для контроля оборудования и лекарств; дашборды для руководителей, визуализирующие ключевые показатели в реальном времени [4].

Внедрение таких решений требует не только программного обеспечения, но и изменения организационных процессов, повышения цифровой грамотности персонала и пересмотра нормативной базы. Однако, как показывает опыт регионов-лидеров, затраты окупаются за счёт повышения эффективности и качества помощи [4].

3. Опыт российских регионов

Ряд субъектов Российской Федерации уже прошли этап пилотных проектов и достигли измеримых результатов.

Москва. Единая медицинская информационно-аналитическая система (ЕМИАС) представляет собой комплексную платформу, включающую управленческий дашборд по каждой поликлинике, электронную запись, интеграцию с лабораториями и стационарами. За счёт цифровизации время ожидания записи к врачу сократилось на 30%, значительно уменьшилось число повторных визитов [1, 4, 5].

Республика Татарстан. Создан центр дистанционного мониторинга пациентов с хроническими заболеваниями (сердечно-сосудистыми, сахарным диабетом). Ежедневные передачи показателей давления, глюкозы, массы тела позволяют врачам своевременно корректировать терапию, что привело к снижению числа госпитализаций на 18% за два года [1, 6].

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра. Внедрена система прогнозной аналитики потребности в узких специалистах на основе искусственного интеллекта, учитывающая демографические изменения, заболеваемость и текучесть кадров. Штатные расписания корректируются заблаговременно, что уменьшило дефицит врачей в наиболее востребованных специальностях на 12% [1, 7].

Липецкая область. Реализована цифровая маршрутизация вызовов скорой помощи с интеграцией данных о свободных койках в стационарах. Время от принятия вызова до доставки пациента сократилось на 15%, снижена доля необоснованных госпитализаций [1, 8].

Эти примеры подтверждают, что цифровые решения дают быстрый и ощутимый эффект даже в регионах с ограниченными бюджетами, если используются системно и адаптированы к местной специфике.

4. Проект «Умное здравоохранение» в Орловской области: направления и ожидаемые результаты.

В Орловской области уже заложена инфраструктурная база для перехода к цифровому управлению. Более 6203 рабочих мест медиков подключены к медицинским информационным системам, внедрена система электронных рецептов. С 2025 года регион начал использовать технологии искусственного интеллекта для обработки маммограмм, флюорограмм, КТ грудной клетки и головного мозга – на основе соглашения с Департаментом здравоохранения Москвы о бесплатном доступе к их наработкам. За первые месяцы обработано более 43 тысяч исследований. Создан центральный архив медицинских изображений.

Однако разрозненность имеющихся решений не позволяет получить синергетический эффект. Поэтому предлагается региональный проект «Умное здравоохранение», включающий следующие ключевые направления:

1. Единая цифровая платформа региона (ЕЦПЗ) – централизованное хранилище данных о пациентах, ресурсах, финансовых потоках с едиными стандартами обмена.

2. Управление маршрутизацией пациентов – интеллектуальная система, направляющая пациента к ближайшему свободному специалисту с учётом тяжести состояния, загрузки учреждений и транспортной доступности.

3. Цифровой мониторинг ресурсов:

– Кадры – дашборд укомплектованности, прогноз текучести, автоматическое формирование заявок на целевую подготовку.

– Медтехника – установка датчиков и RFID-меток на оборудование (КТ, МРТ, рентгенаппараты) для контроля процента простоя, своевременного технического обслуживания и оптимального распределения времени работы.

– Лекарства – прослеживаемость каждой упаковки от склада до конкретного пациента, автоматическое формирование заявок при снижении запасов до критического уровня.

4. Проактивное управление здоровьем населения – на основе больших данных и машинного обучения формирование групп риска, индивидуальных планов профилактики, дистанционное наблюдение за хроническими больными.

5. Управление качеством и эффективностью – цифровые чек-листы клинических рекомендаций, автоматический анализ отклонений, рейтингование медицинских организаций по конечным результатам.

Ожидается, что реализация проекта позволит к 2028 году достичь следующих эффектов:

– Увеличение доли граждан, придерживающихся здорового образа жизни, до 13,6% (в 2024 году – 10,8%);

– Сокращение среднедушевого потребления алкоголя до 7,8 литров этанола на человека (с 9,5 литров);

– Повышение кадровой обеспеченности до 43,46 врача и 85,12 специалиста среднего медперсонала на 10 тысяч населения (соответственно с 38,1 и 78,4);

– Сокращение среднего времени ожидания плановой консультации с 14 до 7 дней;
– Достижение прозрачности расходования средств ОМС на уровне каждой услуги.

Уже в 2025 году отмечены положительные сдвиги: средняя продолжительность жизни в области выросла с 72,4 до 73,1 года, план по диспансеризации выполнен на 102%, введены в эксплуатацию 18 модульных фельдшерско-акушерских пунктов и одна врачебная амбулатория, закуплено более 1200 единиц современного оборудования. Эти успехи создают основу для дальнейшего внедрения цифровых инструментов.

Выводы

Проведённый анализ показывает, что традиционные методы управления здравоохранением в Орловской области исчерпали свой потенциал. Существующие проблемы – разрозненность данных, запаздывание отчётности, нерациональное использование ресурсов, кадровый дефицит и низкая доступность помощи для сельских жителей – не могут быть решены в рамках «бумажной» парадигмы. Цифровая трансформация представляет собой не просто технологическое обновление, а смену управленческой логики: от реактивного реагирования на уже случившиеся события к проактивному прогнозированию и персонализированному планированию.

Опыт регионов-лидеров (Москвы, Татарстана, ХМАО, Липецкой области) убедительно доказывает, что внедрение единых цифровых платформ, интеллектуальной маршрутизации, прогнозной аналитики и телемедицины даёт измеримые результаты – сокращение очередей, снижение госпитализаций, оптимизацию штатов и повышение удовлетворённости пациентов. Орловская область уже имеет необходимую инфраструктурную базу (подключение медучреждений к МИС, использование ИИ, телемедицину) и может на этой основе реализовать системный проект «Умное здравоохранение».

Предложенные направления цифровизации охватывают все ключевые аспекты управления – кадры, медтехнику, лекарственное обеспечение, маршрутизацию пациентов и профилактику. Ожидаемые эффекты – рост продолжительности жизни, снижение алкоголизации, повышение доступности и качества помощи – соответствуют национальным целям развития здравоохранения. Успех проекта будет зависеть от организационной готовности, обучения персонала и межведомственного взаимодействия, но альтернативы цифровой трансформации сегодня не существует. Только такой подход позволит региону перейти к устойчивой, эффективной и пациентоцентричной модели здравоохранения, отвечающей ожиданиям населения и вызовам времени.

Список литературы

1. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 07.09.2020 № 947н «Об утверждении Порядка организации системы электронного документооборота в сфере здравоохранения» [Электронный ресурс]. – Доступ из СПС «КонсультантПлюс».

2. Департамент здравоохранения Орловской области. Доклад о состоянии здравоохранения в Орловской области за 2024–2025 годы. – Орёл, 2025. – 112 с.

3. Гусев А.В., Фомичёва М.Л., Шадеркина В.А. Цифровая трансформация здравоохранения: итоги и перспективы // Врач и информационные технологии. – 2023. – № 4. – С. 6–18.

4. Решетников В.А., Ефименко С.А. Управление региональными системами здравоохранения на основе больших данных // Социология медицины. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 123–130.

5. Официальный сайт Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕМИАС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://emias.mos.ru (дата обращения: 20.08.2026).

6. Хисматуллина З.Р., Садыков Р.А. Опыт дистанционного мониторинга пациентов с хроническими заболеваниями в Республике Татарстан // Казанский медицинский журнал. – 2024. – Т. 105, № 1. – С. 92–98.

7. Зенков М.Ю., Капустин В.А. Применение искусственного интеллекта для прогнозирования кадровой потребности в здравоохранении (на примере ХМАО) // Управление здравоохранением. – 2023. – № 5. – С. 44–51.

8. Иванов П.В., Смирнова О.Н. Цифровая маршрутизация скорой помощи: опыт Липецкой области // Скорая медицинская помощь. – 2024. – № 2. – С. 56–62.

УДК 331.103.3:619:617:004.8

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НОРМИРОВАНИИ ТРУДА ВЕТЕРИНАРНЫХ ВРАЧЕЙ-ХИРУРГОВ

Подсвиров Д.В., аспирант ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-5040-234X

DIGITAL TECHNOLOGIES IN SETTING LABOR STANDARDS FOR VETERINARY SURGEONS

Podsvirov D.V., Postgraduate Student, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-5040-234X

Аннотация

В статье рассмотрены возможности применения цифровых технологий и искусственного интеллекта при нормировании труда ветеринарных врачей-хирургов. Актуальность исследования обусловлена тем, что хирургическое вмешательство представляет собой сложный командный трудовой процесс, в котором одновременно участвуют ветеринарный врач-хирург, ассистент ветеринарного врача, ветеринарный врач-анестезиолог и другой персонал. При этом общая продолжительность операции не отражает фактическую трудоёмкость работы каждого участника бригады ветеринарных специалистов. Традиционный непосредственный хронометраж в таких условиях имеет ряд ограничении, связанных с необходимостью фиксировать одновременно фиксировать параллельно выполняемые действия, кратковременные манипуляции с инструментами и оборудованием, а также определять временные границы отдельных трудовых действий и приёмов.

Цель исследования состояла в обосновании возможностей применения цифровых технологий при нормировании труда ветеринарных-врачей хирургов и разработке подхода к поэлементной регистрации и анализу затрат рабочего времени в ходе хирургических вмешательств. Методическую основу составили анализ научной литературы и методических материалов по нормированию труда ветеринарных специалистов, видеорегистрации хирургических вмешательств, автоматическому распознаванию этапов хирургического процесса и прогнозированию продолжительности операций.

Установлено, что цифровая видеорегистрация позволяет синхронно фиксировать действия членов хирургической бригады, повторно анализировать отдельные эпизоды, уточнять временные границы трудовых элементов и формировать структурированные массивы данных для последующего анализа. Предложен подход, предусматривающий технологическое описание операции, цифровую регистрацию хирургического процесса, экспертную разметку временных интервалов по признакам «этап операции – роль исполнителя – категория затрат рабочего времени», последующее обучение и проверку алгоритма, автоматизированное распознавание отдельных элементов трудового процесса и их нормативный анализ.

Показано, что технологии искусственного интеллекта могут использоваться прежде всего для автоматизации обработки и анализа значительных массивов видеоданных, однако не заменяют методические процедуры нормирования труда. Формирование научно-обоснованных норм времени должно осуществляться с учетом действующей методологии нормирования, результатов наблюдений и экспертной оценки.

Дальнейшая апробация предложенного подхода предполагает накопление собственного массива видеоданных и разработку дифференцированных норм времени с учетом факторов, влияющих на трудоемкость хирургических вмешательств. К числу таких факторов отнесены вид и масса животного, сложность хирургического вмешательства, анестезиологический риск, состав хирургической бригады и техническое оснащение.

Ключевые слова: нормирование труда, ветеринарная хирургия, ветеринарный врач-хирург, хронометраж, рабочее время, цифровые технологии, видеорегистрация, искусственный интеллект

Abstract

The article examines the possibilities of using digital technologies and artificial intelligence in work measurement and time standardization for veterinary surgeons. The relevance of the study is determined by the fact that a surgical procedure is a complex team-based process involving a surgeon, an assistant, a specialist responsible for anesthetic support, while the total duration of surgery does not reflect the actual labor input of each participant. Traditional direct time study is limited by the difficulty of accurately recording simultaneous actions, short operations involving instruments and equipment, and the need for professional interpretation of boundaries between surgical techniques. The aim was to substantiate a conceptual model for using digital recording and artificial intelligence in element-by-element work measurement of veterinary surgeons. The methodological basis included analysis of scientific literature and methodological materials on veterinary work standardization, video recording of surgical procedures, automated recognition of surgical phases, and prediction of procedure duration. Digital video recording can synchronously capture the activities of surgical team members, support repeated analysis, refine the time boundaries of work elements, and create structured datasets. A conceptual model is proposed that includes a technological description of the operation, digital recording, expert annotation of time intervals according to the attributes “surgical phase – performer role – working time category”, algorithm training and validation, automated recognition of process elements, and subsequent work measurement analysis. Artificial intelligence should not be regarded as an automatic generator of time standards. Its function is to scale time-study analysis, while decisions on the composition of a rational standard should be based on established work measurement methodology and expert assessment. Practical validation requires an original surgical video dataset and the development of differentiated time standards. Potential standard-forming factors include animal species and body weight, procedure complexity, anesthetic risk, team composition, and technical equipment.

Keywords: work measurement, veterinary surgery, veterinary surgeon, time study, working time, digital technologies, video recording, artificial intelligence, surgical team, time standards

Введение

Научно обоснованные нормы времени необходимы для планирования численности ветеринарных специалистов, распределения производственной нагрузки, расчёта пропускной способности подразделений и формирования экономически обоснованной стоимости ветеринарных работ и услуг. Действующие методические рекомендации предусматривают суммарный и аналитический методы нормирования труда, классификацию затрат рабочего времени и использование хронометражных наблюдений [1]. Для лечебно-профилактической деятельности и обслуживания мелких домашних животных разработаны методические подходы и нормы времени на отдельные виды работ, включая хирургические вмешательства [2, 3].

При этом хирургическая операция представляет собой сложный объект для непосредственного наблюдения. В ходе хирургического вмешательства одновременно могу выполнять работу ветеринарный врач-хирург, ассистент, специалист, обеспечивающий анестезиологическое сопровождение, а также другой вспомогательный персонал. Даже однотипные хирургические вмешательства различаются по виду и массе животного, характеру патологии, объёму оперативного доступа, срочности, составу бригады и оснащению. В связи с этим общая продолжительность операции не позволяет в полной мере оценит фактическую трудоёмкость и занятость каждого участника хирургической бригады.

Опыт нормирования ветеринарных специалистов, использующих электронные системы учёта, уже показал, что цифровизация меняет структуру рабочего времени и требует самостоятельного изучения новых трудовых операций [4]. В хирургии цифровые технологии расширяют возможности хронометражных наблюдений, позволяя не только фиксировать выполнение отдельных действий, но и сохранять последовательность и продолжительность для последующего анализа. Видеорегистрация, синхронизация событий и использование технологий искусственного интеллекта при обработке полученных данных позволяют более точно определять продолжительность отдельных этапов, приемов, действий, движений, а также формировать массивы наблюдений для дальнейшего анализа и разработки обоснованных норм. многократно возвращаться к отдельным этапам операции, уточнять временные

При этом автоматическое распознавание этапов хирургической операции не позволяет напрямую определить затраты рабочего времени персонала. Этап хирургического вмешательства и категория затрат рабочего времени имеют разное содержание. Поэтому для целей нормирования необходимо сопоставлять результаты автоматизированного анализа хода операции с принятой в отечественной практике классификацией затрат рабочего времени.

Цель исследования – обосновать возможности применения цифровой регистрации и технологий искусственного интеллекта при поэлементном нормировании труда ветеринарных врачей-хирургов. Научно-методическая новизна исследования заключается в предложенном подходе, при котором результаты автоматизированного распознавания отдельных элементов хирургического процесса используются не только для анализа хода операции, но и для оценки затрат рабочего времени с последующим применением в нормировании труда.

Материал и методы

Исследование выполнено на основе анализа научной литературы и методических материалов по двум взаимосвязанным направлениям: нормированию труда ветеринарных специалистов и применению цифровых технологий для регистрации и анализа хирургических вмешательств. Методическую основу составили отечественные рекомендации по нормированию труда ветеринарных специалистов, а также публикации, посвящённые нормированию труда в ветеринарных лечебно-профилактических учреждениях, при обслуживании мелких домашних животных и при работе специалистов с электронными системами учёта [1–4]. Возможности применения цифровых технологий оценивали по данным научных исследований в области видеорегистрации ветеринарных операций, комплексной регистрации процессов в операционной, автоматического распознавания этапов хирургического вмешательства и прогнозирования его продолжительности [5–10].

При подборе зарубежных публикаций основное внимание уделяли исследованиям, в которых цифровые технологии использовались непосредственно для регистрации и анализа хирургического процесса. Рассматривали способы получения и синхронизации данных, подходы к выделению отдельных этапов и действий в ходе операции, возможности автоматического определения их продолжительности, а также результаты проверки разработанных алгоритмов. Полученные сведения сопоставляли с действующими подходами к нормированию труда ветеринарных специалистов, оценивая возможность использования цифровой регистрации и автоматического распознавания хирургических действий для более точного

определения затрат рабочего времени. В работе применялись аналитический, сравнительный и абстрактно-логический методы. Исследование направлено на методическое обоснование цифровых технологий и методов искусственного интеллекта при совершенствовании нормирования труда ветеринарных врачей-хирургов.

Результаты исследования и их обсуждение

Нормирование труда ветеринарного врача-хирурга имеет ряд особенностей, обусловленных организацией хирургической помощи и содержанием самого операционного процесса. В отличие от многих лечебно-профилактических мероприятий хирургическое вмешательство представляет собой командную работу, в которой действия отдельных специалистов тесно связаны между собой и часто выполняются одновременно.

В операции, в зависимости от её вида и сложности, могут участвовать ветеринарный врач-хирург, ассистент, специалист, обеспечивающий анестезиологическое сопровождение, операционный фельдшер, а также может быть специалист, наблюдающий за животным в раннем послеоперационном периоде. При этом затраты рабочего времени каждого участника не совпадают с общей продолжительностью операции. Пока хирург выполняет основной приём, ассистент обеспечивает доступ к операционному полю, анестезиолог контролирует состояние животного, операционный фельдшер готовит инструменты и материалы. Поэтому продолжительность хирургического вмешательства и суммарная трудоёмкость работы бригады являются разными показателями.

Параллельный характер работы затрудняет непосредственное наблюдение и проведение хронометража. Один наблюдатель не всегда способен одновременно и одинаково точно фиксировать действия всех членов бригады, особенно короткие или повторяющиеся операции с инструментами и оборудованием. Дополнительные ограничения связаны с режимом операционной: присутствие постороннего человека должно быть организационно обосновано, а его положение не всегда обеспечивает полный обзор операционного поля, действий специалистов и оборудования.

Сложность представляет и содержательная оценка выполняемых действий. Для правильного определения фиксажных точек необходимо понимать не только внешнее движение специалиста, но и назначение хирургического приёма, его место в последовательности вмешательства и момент перехода к следующему этапу. Наблюдатель без достаточной подготовки в области ветеринарной хирургии может неточно определить границы отдельных элементов работы.

Продолжительность одноимённых операций также может существенно различаться. На неё влияют вид, возраст и масса тела животного, характер и тяжесть патологии, объём вмешательства, анестезиологический риск, срочность, состав хирургической бригады, техническое оснащение и опыт специалистов. Поэтому использование только средней продолжительности операции не позволяет полностью охарактеризовать фактические затраты труда и причины их вариации.

Таким образом, труд ветеринарного врача-хирурга требует более точного и гибкого подхода к изучению затрат рабочего времени. Традиционный хронометраж сохраняет своё значение, однако при исследовании сложного командного процесса нуждается в инструментах, позволяющих одновременно фиксировать действия нескольких участников, повторно анализировать запись и уточнять границы отдельных трудовых элементов.

На рис. 1 представлены основные возможности цифровой видеорегистрации, позволяющие повысить точность хронометража хирургических операций.

Одним из направлений совершенствования хронометражных исследований является цифровая регистрация хирургического процесса. В данном случае она рассматривается не как замена действующей методологии нормирования труда, а как способ более полной фиксации сведений о фактических затратах рабочего времени.



Рис. 1. Возможности цифровой видеорегистрации при хронометраже хирургической операции

Наиболее доступной формой такой регистрации является видеозапись. Она позволяет сохранить ход вмешательства, пересматривать отдельные эпизоды, уточнять начало и окончание действий и сопоставлять работу нескольких участников. Возможность применения цифровой видеозаписи непосредственно в ветеринарной хирургии показана в исследовании G. Giusto и соавторов [5]. В хирургии человека развитие этого напарвления привело к созданию комплексных систем типа Operating Room Black Box, объединяющих синхронизированные видео-, аудио- и иные данные операционной среды [6].

Для задач нормирования особое значение имеет синхронизация событий. Она позволяет анализировать не только общую длительность операции, но и занятость каждого специалиста, периоды параллельной работы, смену инструментов, настройку оборудования, ожидания и другие элементы процесса. При этом видеозапись сама по себе позволяет установить норму времени: полученные интервалы должны быть классифицированы и оценены с позиций принятой системы затрат рабочего времени.

Обработка большого количества видеозаписей вручную требует значительных затрат времени. Поэтому для анализа таких данных могут применяться методы автоматического распознавания этапов и отдельных действий с применением методов искусственного интеллекта. В хирургической информатике это направление развивается в рамках surgical workflow recognition и surgical phase recognition, когда алгоритм определяет выполняемый в конкретный момент этап вмешательства и фиксирует временные границы.

Возможность такого анализа подтверждается современными исследованиями. N. Hashemi и соавторы применили глубокое обучение к видеозаписям 16 видов робот-ассистированных вмешательств на свиных моделях и получили высокую точность распознавания хирургических действий [7]. В системе AI-Endo модель обучалась на 201 026 размеченных кадрах и использовалась для распознавания последовательных состояний эндоскопического вмешательства; работа включала экспериментальную проверку на животных [9]. Эти результаты по-

казывают возможность автоматического выделения действий и их временных границ, однако сами по себе не позволяют определить норму времени.

Для целей нормирования недостаточно установить только этап операции. В пределах одного этапа одновременно могут работать несколько участников хирургической бригады, а выполняемые ими действия относятся к различным категориям затрат рабочего времени. Поэтому при цифровой разметке целесообразно учитывать несколько взаимосвязанных признаков: этап хирургического вмешательства, роль исполнителя и категорию затрат рабочего времени. Такое сопоставление позволяет использовать результаты автоматизированного анализа хирургического процесса при последующем нормировании труда.

Методы машинного обучения могут использоваться и для прогнозирования общей продолжительности вмешательства. В многоцентровом исследовании S. Kendale и соавторов модель, учитывающая совокупность факторов, показала более высокую точность по сравнению с подходом, основанным преимущественно на исторической средней продолжительности процедуры [8]. Для нормирования это подтверждает целесообразность перехода от единой усреднённой величины к дифференциации норм времени с нормообразующих факторов. Отдельного внимания требует защита информации о персонале. Возможность распознавания хирургического процесса по данным камер глубины, снижающих идентифицируемость участников, показана B. G. A. Gerats и соавторами [10].

Таким образом, искусственный интеллект следует рассматривать не как средство автоматического установления нормы времени, а как инструмент, позволяющий расширит возможности хронометражного анализа. Он может использоваться для распознавания повторяющиеся элементов, определения их временных границ и формирования массива данных для последующего анализа. Решение о том, какие затраты рабочего времени подлежат нормированию и каким образом они должны учитываться при установлении нормы, остается задачей нормирования труда.

Проведённый анализ позволил определить последовательность применения цифровых технологий при изучении труда ветеринарной хирургической бригады. На первом этапе для выбранного вида операции необходимо разработать единое технологическое описание: определить начало и окончание наблюдения, основные этапы вмешательства, состав бригады и возможные отклонения. Далее выполняется синхронная цифровая регистрация операции и действий её участников.

Следующим этапом является экспертная разметка полученного материала. Для каждого временного интервала указываются этап операции, роль исполнителя, категория затрат рабочего времени. Для каждого участника могут учитываться основная и вспомогательная работа, подготовительно-заключительное время, обслуживание рабочего места, технологически обусловленные перерывы и организационные потери в соответствии с принятой методикой [1]. Сформированный таким образом массив может использоваться для последующего обучения и проверки алгоритма.

После автоматизированного распознавания отдельных элементов проводится их нормативный анализ. При этом не все фактически зарегистрированные затраты рабочего времени должны включаться в разрабатываемую норму. Например, ожидание из-за неподготовленного инструмента, неисправности оборудования или других организационных причин отражает фактическое течение рабочего времени. Поэтому цифровые технологии должны обеспечивать прежде всего измерение и классификацию затрат времени, а окончательное решение о составе рациональной нормы принимается на основе методики нормирования и экспертной оценки.

На рис. 2 представлена схема цифрового нормирования труда ветеринарных специалистов хирургической бригады.

Накопление структурированных данных позволяет более полно учитывать влияние нормообразующих факторов при разработке и уточнении дифференцированных норм вре-

мени. В ветеринарной хирургии такими факторам могут относиться вид и масса животного, характер и сложность вмешательства, анестезиологический риск, срочность, состав бригады и техническое оснащение. Окончательный перечень этих факторов должен определяться по результатам собственных наблюдений и последующего анализа.



Рис. 2. Схема цифрового нормирования труда ветеринарной хирургической бригады

Практическую апробацию предложенного подхода целесообразно начинать с повторяющихся и технологически сопоставимых операций у непродуктивных животных. Дальнейшая работа может включать разработку классификатора действий и протокола видеорегистрации, оценку согласованности экспертной разметки, накопление собственного массива видеоданных, обучение и проверку алгоритма, сопоставление автоматизированного и традиционного хронометража, а затем обоснование дифференцированных норм времени.

Таким образом, цифровизации технологии и искусственный интеллект могут рассматриваться как инструменты совершенствования аналитического метода нормирования, но не как его замена.

Выводы

1. Труд ветеринарного врача-хирурга представляет собой сложный объект нормирования: операция выполняется командой, многие действия осуществляются одновременно, присутствие наблюдателя в операционной ограничено, корректное определение границ отдельных приёмов требует профессиональной подготовки. На продолжительность и трудоемкость вмешательства также влияют особенности животного, характер операции, анестезиологический риск, состав бригады и техническое оснащение.

2. Цифровая видеорегистрация позволяет повысить полноту хронометражных наблюдений за счёт синхронной фиксации действий участников хирургической бригады, возможности повторного просмотра записи и уточнения временных границ элементов трудового процесса. При нормировании труда необходимо учитывать различие между общей продолжительностью операции затратим рабочего времени каждого участника хирургической бригады.

3. Технологии искусственного интеллекта могут применяться для автоматизированного распознавания и измерения элементов хирургического процесса. Однако автоматически

выделенные этапы и временные интервалы не являются готовыми нормами времени требуют сопоставления с принятой классификацией затрат рабочего времени, а также экспертной оценки.

4. Предложенная возможная последовательность применения цифровых технологий при изучении труда ветеринарной хирургической бригады, включающая технологическое описание операции, цифровую регистрацию, экспертную разметку по этапам вмешательства, роли исполнителя и категории затрат рабочего времени, последующую обработку полученных данных и их нормативный анализ. Данное направление требует дальнейшей разработки и может стать основой для последующих исследований по совершенствованию нормирования труда ветеринарных врачей – хирургов.

Список литературы

1. Методические рекомендации по нормированию труда ветеринарных специалистов : рассмотрены и рекомендованы к изданию секцией «Ветеринария» Научно-технического совета Минсельхоза России, протокол от 26.12.2014 № 61.

2. Никитин, И. Н. Нормирование труда работников лечебно-профилактических ветеринарных учреждений / И. Н. Никитин, А. И. Акмуллин, Е. Н. Трофимова, М. Н. Васильев // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2010. – Т. 203. – С. 186–192.

3. Трофимова, Е. Н. Нормы времени на ветеринарные работы (услуги) при обслуживании мелких домашних животных / Е. Н. Трофимова // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2012. – № 1. – С. 12–15.

4. Померанцев, Д. А. Нормирование труда ветеринарных врачей, использующих в работе электронные системы учёта / Д. А. Померанцев, П. О. Шекшуева // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2018. – Т. 233, № 1. – С. 129–132.

5. Giusto, G. The Surgeon's View: Comparison of Two Digital Video Recording Systems in Veterinary Surgery / G. Giusto, V. Caramello, F. Comino, M. Gandini // Journal of Veterinary Medical Education. – 2015. – Vol. 42, № 2. – P. 161–165. – DOI: 10.3138/jvme.0814-088R1.

6. Jung, J. J. First-year Analysis of the Operating Room Black Box Study / J. J. Jung, P. Jüni, G. Lebovic, T. Grantcharov // Annals of Surgery. – 2020. – Vol. 271, No. 1. – P. 122–127. – DOI: 10.1097/SLA.0000000000002863.

7. Hashemi, N. Video-based robotic surgical action recognition and skills assessment on porcine models using deep learning / N. Hashemi, M. Mose, L. R. Østergaard [et al.] // Surgical Endoscopy. – 2025. – Vol. 39, № 3. – P. 1709–1719. – DOI: 10.1007/s00464-024-11486-3.

8. Kendale, S. Machine Learning for the Prediction of Procedural Case Durations Developed Using a Large Multicenter Database: Algorithm Development and Validation Study / S. Kendale, A. Bishara, M. Burns [et al.] // JMIR AI. – 2023. – Vol. 2. – Article e44909. – DOI: 10.2196/44909.

9. Cao, J. Intelligent surgical workflow recognition for endoscopic submucosal dissection with real-time animal study / J. Cao, H.-C. Yip, Y. Chen [et al.] // Nature Communications. – 2023. – Vol. 14. – Article 6676. – DOI: 10.1038/s41467-023-42451-8.

10. Gerats, B. G. A. Automated surgical workflow recognition in privacy-preserving depth videos of the operating room / B. G. A. Gerats, J. M. Wolterink, I. A. M. J. Broeders // Surgical Endoscopy. – 2025. – Vol. 39, № 9. – P. 5948–5956. – DOI: 10.1007/s00464-025-12031-6.

УДК 004.93:616.711

НЕЙРОНЕЧЕТКАЯ РЕДУЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

Пырнова О.А., аспирант кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0000-2189-3264

REDUCED NEURO-FUZZY MODEL FOR KNOWLEDGE BASE FORMATION IN VERTEBRAL PATHOLOGY DIAGNOSIS

Pyrnova O.A., postgraduate student, Department of Information Security Systems, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0000-2189-3264

Аннотация

Рассмотрена задача формирования нечеткой базы знаний для диагностики патологий позвоночника на основе нейронечеткой редуцированной модели с дискретным выходом. Модель объединяет возможности искусственных нейронных сетей, обеспечивающих обучение по данным, и систем нечеткого логического вывода, позволяющих получать интерпретируемое решение. Цель работы состоит в разработке модели и метода формирования интерпретируемой базы знаний при сокращении числа нейронов-антецедентов и нечетких правил без ухудшения качества классификации. Нейронечеткая модель включает слои входных нейронов, нейронов-градаций, нейронов-антецедентов, нейронов-классов и выходного нейрона. Предложенный метод содержит четыре последовательных этапа: преднастройку структуры модели, ее редукцию, обучение редуцированной модели и извлечение нечетких правил. На этапе преднастройки значения входных признаков гранулируются методом *k*-средних, инициализируются параметры функций принадлежности и рассчитываются коэффициенты уверенности *CF*. Первый генетический алгоритм определяет число нечетких градаций входных переменных, второй – выбирает состав активных нейронов-антецедентов при условии сохранения полного покрытия исходных данных и неуменьшения точности модели, а третий – выполняет параметрическую настройку функций принадлежности. Извлечение правил из обученной модели осуществляется на основе метода маршрутов. Вычислительный эксперимент проведен на наборе данных Vertebral Column из репозитория UCI, содержащем 310 наблюдений, описываемых шестью входными признаками и относящихся к трем классам. В результате применения второго генетического алгоритма число нейронов-антецедентов сокращено с 1614 до 785, а число нечетких правил – с 2063 до 997. Степень редукции составила 51,36% и 51,67%. Точность на тестовой выборке составила 85,22% после первого генетического алгоритма, повысилась до 88.70% после второго и до 90,432 после третьего. Итоговая точность на исходном наборе данных составила 90,97%. Сформированная база знаний содержит 997 нечетких правил. Полученные результаты показывают, что редукция структуры модели может выполняться без ухудшения качества классификации, обеспечивая более компактное и интерпретируемое представление базы знаний. Модель может служить основой для создания программных средств поддержки принятия решений.

Ключевые слова: нейронечеткая модель, нечеткая база знаний, редукция нейронечеткой модели, диагностика патологий позвоночника, генетический алгоритм, функции принадлежности, нечеткие правила, метод маршрутов

Abstract

The problem of generating a fuzzy knowledge base for diagnosing spinal pathologies is considered using a reduced neuro-fuzzy model with a discrete output. The model combines the capabilities of artificial neural networks, which provide data-driven learning, and fuzzy inference systems, which produce interpretable solutions. The goal of the study is to develop a model and method for generating an interpretable knowledge base while reducing the number of antecedent neurons and fuzzy rules without degrading the classification quality. The neuro-fuzzy model includes layers of input neurons, gradation neurons, antecedent neurons, class neurons, and an output neuron. The proposed method comprises four sequential stages: pre-tuning the model structure, its reduction, training the reduced model, and extracting fuzzy rules. During the pre-tuning stage, the values of the input features are granulated using the k-means method, the parameters of the membership functions are initialized, and the confidence coefficients (CFs) are calculated. The first genetic algorithm determines the number of fuzzy gradations of the input variables, the second selects the composition of active antecedent neurons while maintaining full coverage of the initial data and without decreasing the accuracy of the model, and the third performs parametric tuning of the membership functions. Rules are extracted from the trained model using the route method. The computational experiment was conducted on the Vertebral Column dataset from the UCI repository, containing 310 observations described by six input features and belonging to three classes. As a result of applying the second genetic algorithm, the number of antecedent neurons was reduced from 1614 to 785, and the number of fuzzy rules was reduced from 2063 to 997. The degree of reduction was 51.36% and 51.67%. The accuracy on the test set was 85.22% after the first genetic algorithm, increased to 88.70% after the second, and to 90.432 after the third. The final accuracy on the original dataset was 90.97%. The resulting knowledge base contains 997 fuzzy rules. The results demonstrate that model structure reduction can be performed without degrading classification quality, providing a more compact and interpretable knowledge base representation. The model can serve as a basis for developing decision support software.

Keywords: neuro-fuzzy model, fuzzy knowledge base, neuro-fuzzy model reduction, vertebral pathology diagnosis, genetic algorithm, membership functions, fuzzy rules, route method

Введение

Интеллектуальная система диагностики патологий позвоночника должна не только относить исследуемый объект к одному из классов решений, но и представлять основание полученного вывода в форме, доступной для анализа специалистом. Для решения этой задачи целесообразно использовать нейронечеткую модель [1], сочетающую способность искусственных нейронных сетей обучаться на данных [2] с возможностью систем нечеткого логического вывода формировать интерпретируемые решения [3, 4]. Результатом работы такой модели является база знаний, представленная системой нечетко-продукционных правил в формате «Если-То». В работе использован набор данных Vertebral Column из репозитория UCI [5].

Для формирования нечеткой базы знаний важна не только точность классификации, но и число правил, их соответствие структуре модели и возможность интерпретации полученного решения. Увеличение числа входных нейронов и числа их нечетких градаций в нейронечетких моделях приводит к экспоненциальному росту числа нейронов-антецедентов. Если число функций принадлежности для i-й входной переменной обозначить k_i, то число нейронов-антецедентов определяется произведением $N = \prod_{i=1}^{n} k_i$.. Построение модели большой размерности затрудняется из-за ограничения вычислительных ресурсов, а избыточное число правил ухудшает интерпретируемость базы знаний и увеличивает время логического вывода. В связи с этим возникает необходимость редукции нейронечеткой модели путем выбора оптимального состава правил в слое нейронов-антецедентов.

Целью работы является разработка нейронечеткой редуцированной модели и метода формирования на ее основе нечеткой базы знаний для диагностики патологий позвоночника.

Для ее достижения в работе рассмотрена структура модели, этапы ее преднастройки, редукции, обучения и извлечения правил, а также проведены вычислительные эксперименты.

Постановка задачи и структура нейронечеткой модели

На вход нейронечеткой модели поступают количественные значения диагностических признаков, а выход соответствует одному из дискретных классов. Структура модели включает пять слоев, назначение которых приведено в таблице 1.

Таблица 1

Слои нейронечеткой модели с дискретным выходом

Слой модели	Назначение
Слой входных нейронов	Распределяет входные значения по нейронам следующего слоя
Слой нейронов-градаций	Формирует условия нечетких правил
Слой нейронов-антецедентов	Формирует антецеденты нечетких правил
Слой нейронов-классов	Задает дискретное множество классов решений
Слой выходного нейрона	Формирует выход модели в виде одного из классов решений

Каждому нечеткому правилу соответствует нейрон-антецедент. Весовые коэффициенты соответствуют весам нечетких правил, а обучение модели выполняется путем настройки значений параметров функций принадлежности. Таким образом, структура обученной модели может быть преобразована в систему нечетких правил, а классы решений в слое нейронов-классов определяют дискретный выход диагностической системы.

Для формирования базы знаний необходимо определить число нечетких гранул для каждого входного нейрона, инициализировать значения параметров функций принадлежности, сформировать правила, исключить правила, не влияющие на точность модели, выполнить обучение редуцированной модели и извлечь нечеткие правила. Решение этих задач объединяется в одном методе.

Метод формирования нечеткой базы знаний

Схема метода формирования базы знаний на основе нейронечеткой редуцированной модели приведена на рис. 1.

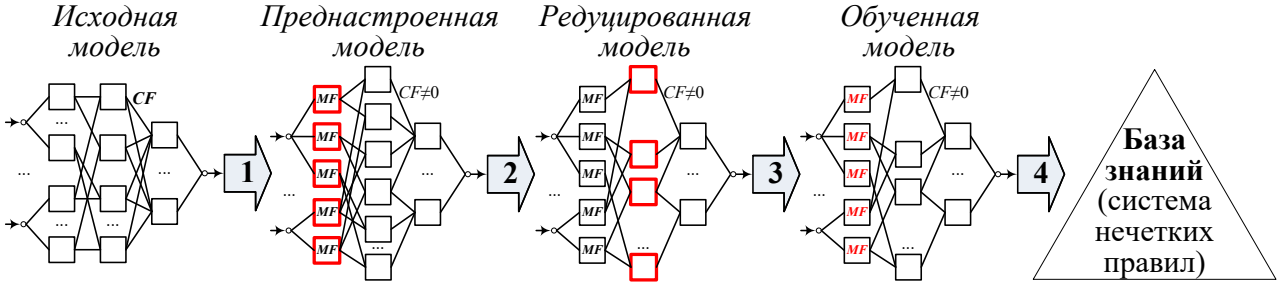


Рис. 1. Схема формирования базы знаний на основе нейронечеткой редуцированной модели

Метод включает четыре этапа: преднастройку нейронечеткой модели, редукцию модели, обучение редуцированной модели и извлечение нечетких правил из обученной модели.

Преднастройка необходима для предварительного формирования правил при большой размерности модели. Она включает оптимизацию числа нечетких гранул, инициализацию значений параметров функций принадлежности, расчет значений весов связей *CF* и удаление

межнейронных связей с нулевыми *CF*. Редукция выполняется путем выбора оптимального состава правил. Обучение направлено на настройку значений параметров функций принадлежности, а извлечение преобразует структуру обученной модели в нечеткую базу знаний.

Преднастройка нейронечеткой модели

Значения входных нейронов гранулируются методом *k*-средних. Для каждой входной переменной число функций принадлежности k_i выбирается в диапазоне от трех до шести. Первый генетический алгоритм (ГА1) ищет хромосому, кодирующую совокупность значений k_i и соответствующую максимальной точности модели на этапе инициализации.

После гранулирования инициализируются значения параметров функций принадлежности: левое основание *l*, левая и правая границы моды c_1 и c_2 и правое основание *r*. Инициализация однозначно определяется результатом гранулирования, как показано на рис. 2.

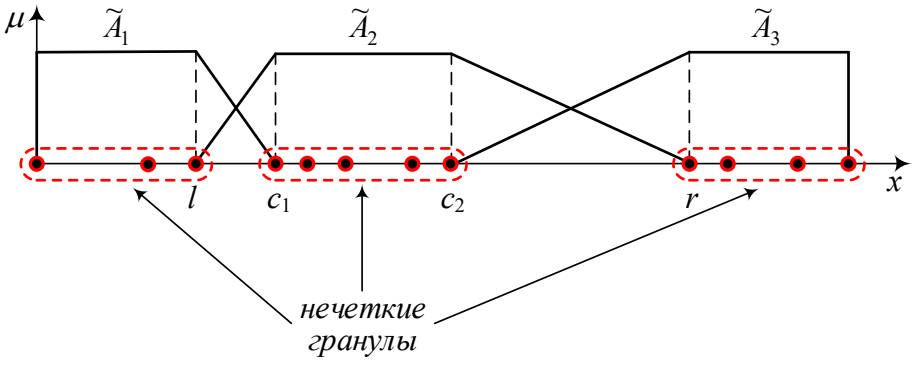


Рис. 2. Пример гранулирования значений входной переменной и инициализации функций принадлежности

Как видно из рисунка, границы нечетких гранул определяют начальные значения параметров соответствующих функций принадлежности. После их инициализации рассчитываются весовые коэффициенты *CF* нечетких правил. Межнейронные связи, которым соответствуют нулевые значения *CF*, исключаются из структуры нейронечеткой модели.

Редукция нейронечеткой модели

На этапе редукции оптимизируется состав нечетких правил с ненулевыми *CF* за счет удаления «лишних» правил, не влияющих на точность модели. Слой нейронов-антецедентов кодируется бинарной хромосомой: значение «1» означает активность нейрона-антецедента, а «0» – его пассивность. Пассивные нейроны не влияют на работу модели и могут быть удалены.

Фитнесс-функция второго генетического алгоритма (ГА2) равна числу пассивных нейронов-антецедентов. Лучшая хромосома выбирается по критерию максимизации пассивных нейронов-антецедентов при условии неуменьшения точности модели на этапе инициализации и максимизации точности на этапе редукции. Хромосомы, при которых нейрон из слоя градаций не связан ни с одним нейроном-антецедентом, удаляются из популяции.

Обучение редуцированной модели

Третий генетический алгоритм (ГА3) выполняет настройку значений параметров функций принадлежности в границах заданных диапазонов. Хромосома кодирует значение одного настраиваемого параметра, а фитнесс-функция определяется точностью на обучающей выборке. Критерием выбора лучшей хромосомы является максимизация точности.

Алгоритм получает редуцированную модель с инициализированными параметрами функций принадлежности, рассчитывает точность и, если она не равна единице, случайным образом выбирает входной нейрон, его градацию и настраиваемый параметр соответствующей функции принадлежности. К выбранному параметру применяется ГА3. Выбор повторяется до тех пор, пока в течение заданного числа циклов дальнейшая настройка не приводит к повышению точности.

Извлечение нечетких правил

После обучения выделяются маршруты прохождения сигнала от входов к выходу. Каждый маршрут соответствует конкретному нечеткому правилу и проходит через входной нейрон, нейрон-градацию, активный нейрон-антецедент и нейрон-класс.

Использование генетических алгоритмов для поиска структуры и параметров нечетких систем соответствует направлению генетических нечетких систем. Выбор состава правил при сохранении точности связан с задачами многоцелевой селекции правил, а формирование базы правил по результатам кластеризации и настройки функций принадлежности рассматривается в современных системах нечеткого вывода. Применимость нейронечетких классификаторов к задачам оценки состояний подтверждается также отечественными исследованиями.

Генетические операторы

В ГА1, ГА2 и ГА3 используются следующие генетические операторы [6]: селекция в форме турнирного отбора, *g*-точечный кроссинговер, мутация с вероятностью, равной единице, деленной на длину хромосомы, и редукция хромосом. Критерием остановки является «холостая» работа генетического алгоритма в течение заданного числа поколений. Различие между алгоритмами определяется способом кодирования хромосом и их фитнесс-функциями.

Программная реализация

Программная реализация метода обеспечивает загрузку исходных данных, задание параметров генетических алгоритмов, последовательное выполнение преднастройки, редукции и обучения нейронечеткой модели, а также отображение структуры модели, функций принадлежности и показателей качества классификации. Для анализа и моделирования выбран набор данных Vertebral Column [5], содержащий 310 наблюдений, описываемых шестью входными признаками и относящихся к трем классам.

На рисунке 3 показано основное окно программы после выполнения ГА1.

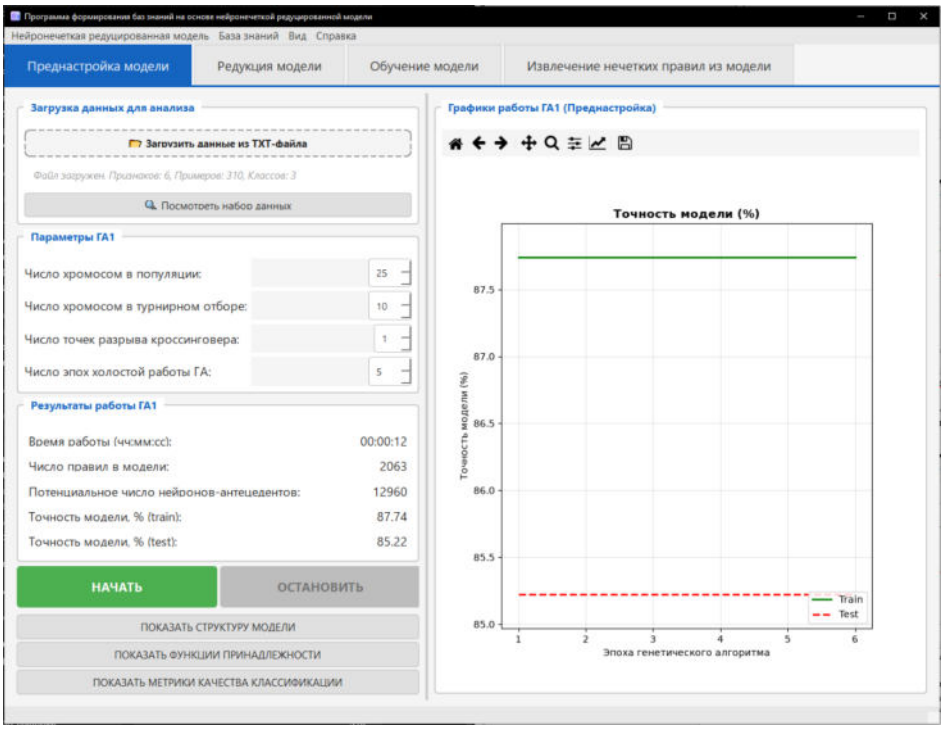


Рис. 3. Результаты преднастройки нейронечеткой модели

В интерфейсе отображаются характеристики исходного набора данных, параметры ГА1, выбранное число нечетких градаций входных переменных и показатели сформированной структуры модели. Полученная после преднастройки модель передается на этап редукции.

На этапе редукции ГА2 определяет состав активных нейронов-антецедентов при условии сохранения полного покрытия исходных данных и неуменьшения точности модели.

Результаты редукции нейронечеткой модели для набора Vertebral Column представлены на рис. 4.

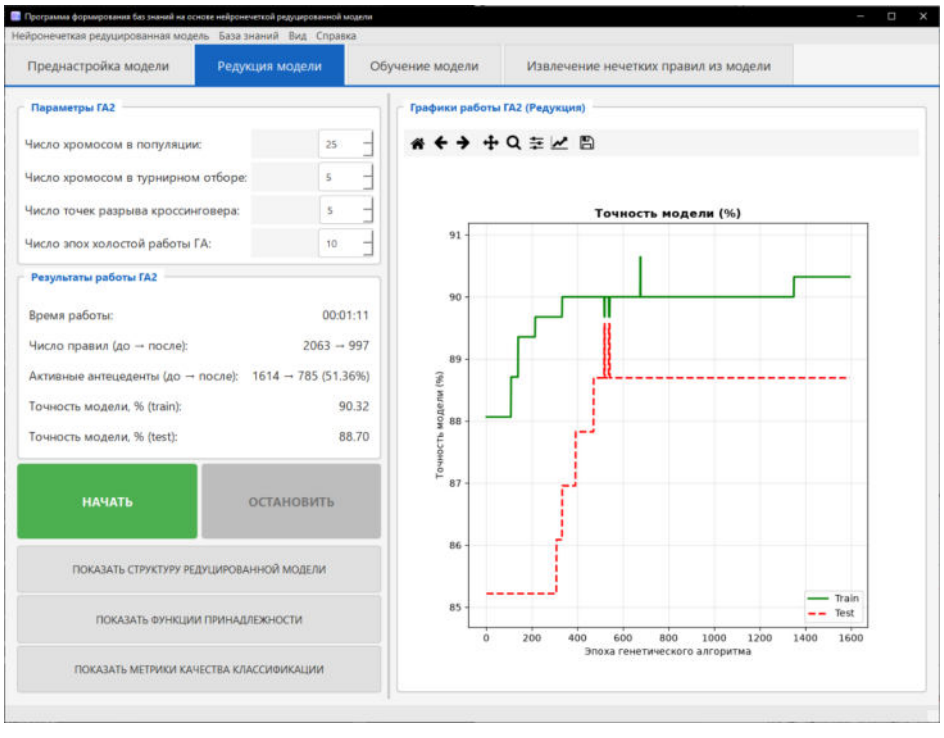


Рис. 4. Результаты редукции нейронечеткой модели

После редукции выполнена параметрическая настройка модели с помощью ГА3. Ее результаты представлены на рис. 5.

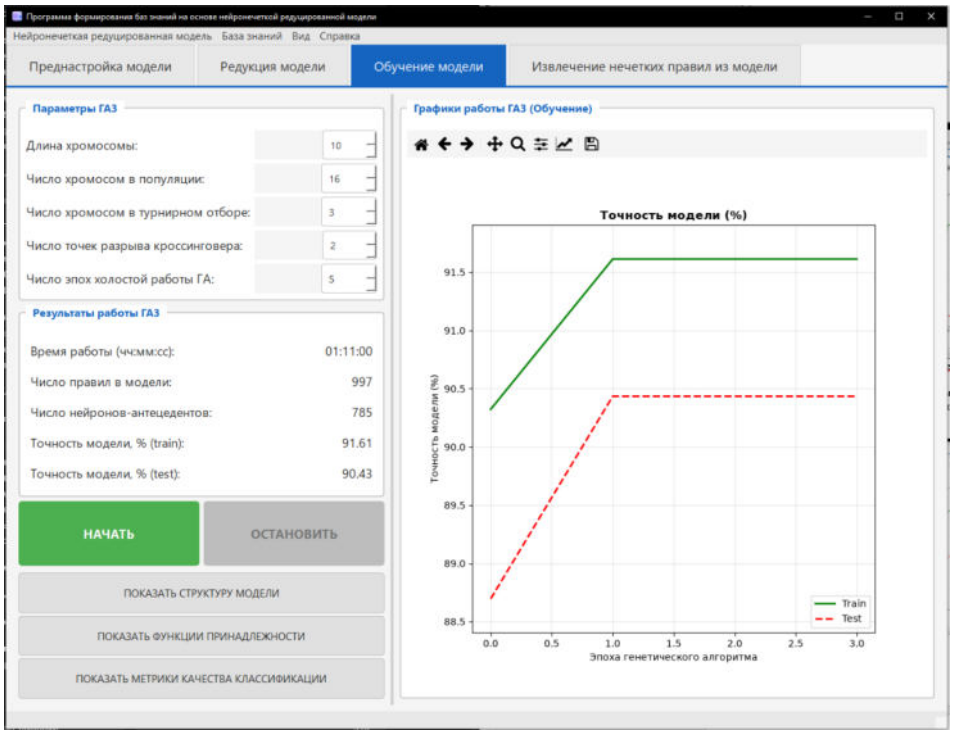


Рис. 5. Результаты обучения нейронечеткой редуцированной модели

После завершения параметрической настройки из обученной нейронечеткой редуцированной модели извлечены нечеткие правила. Сформированная база знаний представлена в табличной форме и содержит комбинации лингвистических значений входных признаков, класс и значение уверенности *CF*. Фрагмент базы знаний представлен на рис. 6.

PelvicIncidence (s, bm, am, l)	PelvicTilt vs, s, bm, am, l, vl	mbarLordosisAng (s, bm, m, am, l)	SacralSlope (s, m, l)	PelvicRadius vs, s, bm, am, l, vl	greeSpondylolisth vs, s, bm, am, l, vl	Класс	CF
s	vs	s	l	vl	vs	NO	0.000365
s	vs	bm	l	l	vs	NO	0.000365
s	vs	m	l	l	vs	NO	0.000047
bm	vs	s	l	l	vs	NO	0.000409
bm	vs	s	l	vl	vs	NO	0.000409
bm	vs	bm	l	s	s	SL	0.001784
bm	vs	bm	l	s	bm	SL	0.001408
bm	vs	bm	l	vl	vs	NO	0.000649
bm	vs	m	l	am	vs	NO	0.000047
bm	s	bm	l	s	bm	SL	0.002028
bm	s	bm	l	am	vs	NO	0.000275
bm	s	bm	l	am	s	NO	0.000272
bm	s	bm	l	l	vs	NO	0.001023
bm	s	bm	l	l	s	NO	0.000272
bm	s	m	l	vs	s	SL	0.000492

Рис. 6. Фрагмент сформированной нечеткой базы знаний

В результате извлечено 997 нечетких правил, сформированных на основе 785 активных нейронов-антецедентов. Каждое правило содержит значения термов шести входных признаков, заключение в виде диагностического класса и соответствующее значение *CF*.

Вычислительный эксперимент

Эксперимент показал, что применение ГА2 позволило сократить число нейронов-антецедентов с 1614 до 785 (на 51,36%), а число правил – с 2063 до 997 (на 51,67%). Точность на тестовой выборке повысилась с 85,22% до 88,70%, что свидетельствует об отсутствии ухудшения качества классификации при сокращении структуры модели. Последующая параметрическая настройка модели с помощью ГА3 обеспечила повышение точности до 91,61% на обучающей и до 90,43% на тестовой выборке. Итоговая точность на исходном наборе данных составила 90,97%.

Выводы

Предложена и программно реализована нейронечеткая редуцированная модель для формирования нечеткой базы знаний диагностики патологий позвоночника. Выполнена предварительная настройка структуры модели, выбран состав нейронов-антецедентов, обеспечены параметрическая настройка модели и извлечение из нее системы нечетких правил. Результаты показали, что сокращение структуры модели выполняется без ухудшения качества классификации. Уменьшение числа нейронов-антецедентов и связанных с ними правил обеспечивает более компактное представление модели и создает предпосылки для повышения интерпретируемости формируемой базы знаний.

Практическая значимость разработанной модели состоит в возможности ее применения при создании систем поддержки принятия решений в медицине [7], в частности для диагностики патологий позвоночника [8]. Представление результатов в виде нечетких правил позволяет оценить условия формирования диагностического решения [9, 10]. Предложенный подход может быть использован и в других предметных областях, в которых требуется обработка многомерных данных с сохранением интерпретируемости результатов.

Список литературы

1. Катасёв, А.С. Нейронечеткая система обнаружения продукционных зависимостей в базах данных / А.С. Катасёв, Ч.Ф. Ахатова // Программные продукты и системы. – 2011. – № 3. – С. 6-12.
2. Пырнова, О.А. Применение нейронных сетей для автоматизированного обнаружения патологий на ренгеновских снимках легких / О.А. Пырнова, Д.П. Никоноров // Мягкие измерения и вычисления. – 2026. – Т. 99, № 2-4. – С. 54-62.
3. Катасёв, А.С. Нейронечеткий классификатор оценки уровня знаний обучающихся / А.С. Катасёв, Д.В. Катасёва, Ю.Н. Смирнов, В.Л. Васильев // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27, № 9. – С. 115-119.
4. Катасёва, Д.В. Нейронечеткая модель оценки вредоносности сетевого трафика в Android-приложениях / Д.В. Катасёва, Д.Д. Лосева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 1. – С. 77-80.
5. Sawicka, M. Training load as the conditioning of vertebral column dysfunction in road cyclists / M. Sawicka // Polish Journal of Sports Medicine. – 2023. – Vol. 39, № 4. – P. 183-192.
6. Havangi, R. Robust Square-Root Cubature FastSLAM with Genetic Operators / R. Havangi // Robotica. – 2021. – Vol. 39, № 4. – P. 665-685.
7. Dagi, T.F. Machine Learning and Artificial Intelligence in Neurosurgery: Status, Prospects, and Challenges / T.F. Dagi, F.G. Barker, J. Glass // Neurosurgery. – 2021. – Vol. 89, № 2. – P. 133-142.
8. Подольская, М.А. Применение систем искусственного интеллекта для диагностического процесса в вертеброневрологии / М.А. Подольская, А.С. Катасёв // Казанский медицинский журнал. – 2007. – Т. 88, № 4. – С. 346-351.
9. Zhu, B. Fuzzy Decision Tree Based on Fuzzy Rough Sets and Z-Number Rules / B. Zhu, J. Wang, X. Zhang // Axioms. – 2024. – Vol. 13, № 12. – P. 836.
10. Dagaeva, M. Fuzzy rules reduction in knowledge bases of decision support systems by objects state evaluation / M. Dagaeva, A. Katasev // Studies in Systems, Decision and Control. – 2021. – Vol. 338. – P. 113-123.

УДК 004.8:614.2

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ РЕСУРСАМИ МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ: ИНТЕГРАЦИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Седых В.В., аспирант, ассистент кафедры анализа данных и технологий программирования;
E-mail: sbdudgy@mail.ru;
ORCID: 0009-0006-1358-8319;
Бурнашев Р.А., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой анализа данных и технологий программирования Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
E-mail: r.burnashev@inbox.ru;
ORCID: 0000–0002–1057–0328

HYBRID APPROACH TO RESOURCE MANAGEMENT IN A HEALTHCARE ORGANIZATION: INTEGRATION OF MACHINE LEARNING AND MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION

Sedykh V.V., Postgraduate Student, Assistant of the Department of Data Analysis and Programming Technologies;
E-mail: sbdudgy@mail.ru;
ORCID: 0009-0006-1358-8319;

Burnashev R.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Data Analysis and Programming Technologies, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
E-mail: r.burnashev@inbox.ru;
ORCID: 0000-0002-1057-0328

Аннотация

В статье представлен гибридный подход к интеллектуальной поддержке принятия управленческих решений при распределении ресурсов медицинской организации. Предложенный подход предполагает двухуровневую архитектуру. Архитектура включает в себя внедрение методов машинного обучения для прогнозирования ключевых параметров (загрузка оборудования, поток пациентов, потребность в лекарственных средствах и др.) и интеграцию методов многокритериальной оптимизации для принятия сбалансированных управленческих решений.

На основе полученных прогнозов, с учетом нескольких противоречивых критериев (минимизация времени ожидания, стоимости, максимизации клинической срочности и др.) формируются оптимальные рекомендации по распределению ресурсов. Разработанные программные решения зарегистрированы в Роспатенте (свидетельства № 2025618860, № 2025660356) [10, 9].

Результаты тестирований, проведенных на синтетических медицинских данных, показали, что применение подхода позволит: сократить время принятия решений в 3–10 раз, снизить трудозатраты управленческого персонала на 75 % и уменьшить долю ошибок в распределении ресурсов с 12 % до 3 %. Выдвинутый подход планируется апробировать на реальных анонимных данных медицинских организаций и открытых медицинских данных, а также интегрировать в существующие медицинские информационные системы для повышения эффективности управления ресурсами и качества медицинской помощи.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, гибридные интеллектуальные системы, управление здравоохранением, машинное обучение, искусственный интеллект, распределение ресурсов, принятие решений, медицинская организация, предиктивная аналитика

Abstract

The article presents a hybrid approach to intelligent decision support for resource allocation in healthcare organizations. The proposed architecture consists of two interconnected layers: a predictive layer based on machine learning for forecasting key parameters (equipment load, patient flow, medication demand, etc.), and an optimization layer based on multi-criteria decision-making for generating balanced management decisions.

Optimal recommendations are formed based on the obtained forecasts, taking into account several conflicting criteria: minimizing waiting time, cost, and maximizing clinical urgency. The developed software solutions have been registered with Rospatent (certificates No. 2025660356, No. 202561860) [10, 9].

Testing on synthetic medical data demonstrated that the approach allows for:

– 3–10 times reduction in decision-making time;

– 75% reduction in administrative staff workload;

– decrease in allocation errors from 12% to 3%.

Future work includes pilot testing on real anonymized healthcare data, open medical data and integration into existing medical information systems to improve resource management efficiency and the quality of care.

Keywords: multi-criteria optimization, hybrid intelligent systems, healthcare management, machine learning, artificial intelligence, resource allocation, decision making, healthcare organization, predictive analytics

Введение

В настоящее время медицинские организации функционируют в условиях высокой неопределенности и ограниченности ресурсов, что осложняется постоянно растущим объемом данных. Эффективность управления ресурсами оказывает непосредственное воздействие на качество медицинской помощи, доступность услуг и финансовую устойчивость организации. Ключевыми управленческими задачами являются распределение коечного фонда и пациентов по отделениям, планирование диагностических процедур (КТ, МРТ), управление закупками лекарственных средств и составление графиков работы персонала. Перечисленные задачи характеризуются множеством взаимосвязанных параметров и наличием противоречивых критериев [1, 2].

В современных медицинских организациях применяются традиционные методы управления ресурсами, основанные на интуитивном опыте, ручном планировании и частично автоматизированных системах учета. Это приводит к субоптимальному использованию ресурсов, увеличению времени ожидания для пациентов и росту трудозатрат административного персонала.

Хотя медицинские информационные системы (МИС) активно внедряются, большинство из них выполняют лишь функции регистрации, хранения и первичной обработки данных. Они не предоставляют инструменты прогнозирования и интеллектуальной поддержки принятия решений с учетом нескольких критериев [3]. Вследствие этого концепция доказательного менеджмента в сфере распределения ресурсов продолжает оставаться преимущественно формальной.

В зарубежной практике наблюдается растущий интерес к использованию методов многокритериальной оптимизации (MCO, MCDA) для распределения ресурсов и их интеграции в системы поддержки принятия решений. Большинство существующих решений ориентированы на конкретные задачи и не предусматривают адаптацию к динамике потоков пациентов [4–6, 8]. Зачастую, в классических методах многокритериальной оптимизации используют статические веса критериев, которые задаются экспертом. Такой подбор весов ограничивает их способность адаптироваться к изменяющимся условиям, таким как сезонные всплески заболеваемости.

В то же время наблюдается тенденция к активному применению методов машинного обучения для прогнозирования результатов лечения и оптимизации клинических маршрутов [7]. Они дают возможность прогнозировать ключевые параметры, однако не предоставляют готовых решений для управления и не обеспечивают ясности и прозрачности этих решений.

Проблема интеграции методов машинного обучения и многокритериальной оптимизации в единую систему управления остается недостаточно изученной [5]. Отсутствуют комплексные подходы, которые позволили бы объединить прогнозирование параметров и оптимизацию решений в реальном времени для многопрофильных медицинских организаций.

Целью настоящего исследования является разработка гибридного подхода к управлению ресурсами медицинской организации, который объединяет прогнозные модели машинного обучения и методы многокритериальной оптимизации для интеллектуальной поддержки управленческих решений.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обработки больших массивов данных (Big Data) из медицинских информационных систем для повышения операционной эффективности.

В ходе исследования разработана двухуровневая архитектура. Первый уровень – это уровень прогнозирования, основанный на ансамблевых моделях градиентного бустинга (CatBoost, LightGBM) для предсказания стохастических параметров. Второй уровень – это уровень многокритериальной оптимизации, на котором применяются многокритериальные

оптимизационные методы (метод уступок, свертки критериев, метрический метод, модифицированный метод ε-ограничений) для эффективного распределения ресурсов с учетом противоречивых целей (минимум затрат, максимум качества, минимум времени ожидания) [7].

Научная новизна исследования заключается в разработке двухуровневой архитектуры гибридного подхода, интегрирующей прогнозные модели машинного обучения и методы многокритериальной оптимизации с адаптивной настройкой весов критериев. В отличие от существующих подходов, предлагаемая архитектура предлагает последовательную интеграцию прогнозирования и оптимизации.

Адаптивность и гибкость подхода достигается за счет настройки весов критериев с использованием экспертных оценок и статистического анализа важности признаков, проводимого на основе моделей машинного обучения.

Практическая значимость заключается в программной реализации и возможности интеграции в существующие медицинские информационные системы. Разработанный подход масштабируем и применим для построения отраслевых систем поддержки принятия решений в здравоохранении. В перспективе планируется апробировать его на реальных данных медицинских организаций.

Двухуровневая архитектура гибридного подхода

Предлагаемый гибридный подход реализован в виде двухуровневой архитектуры, обеспечивающей сквозную обработку данных от прогнозирования до принятия решений:

Уровень прогнозирования (Machine Learning). На основе ретроспективных данных из электронных медицинских карт (ЭМК) строятся модели прогнозирования стохастических параметров: поток экстренных пациентов, длительность госпитализации, вероятность осложнений.

Уровень оптимизации (Multi-Criteria Optimization). На основе полученных прогнозов формируются оптимальные управленческие решения по распределению коечного фонда, графиков персонала и использованию оборудования.

Архитектура комплекса представлена на рис. 1.

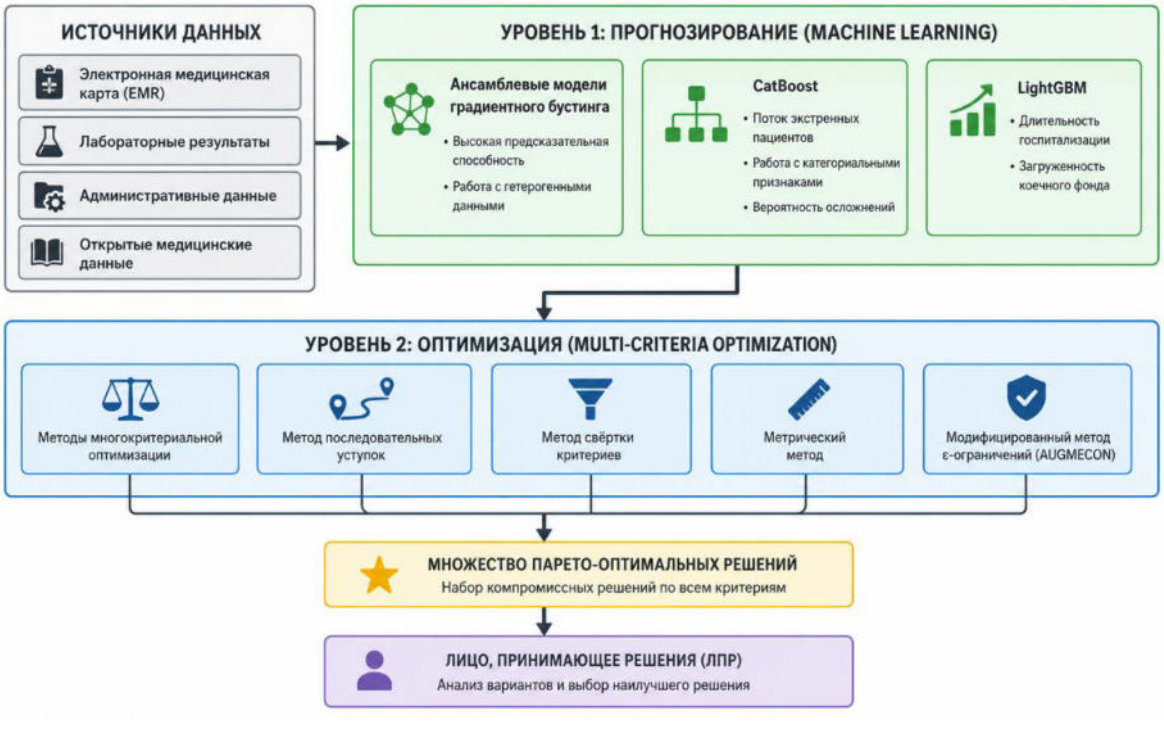


Рис. 1. Двухуровневая архитектура гибридного подхода к управлению ресурсами медицинской организации

Методы машинного обучения (уровень прогнозирования)

Для прогнозирования стохастических параметров использовались ансамблевые модели градиентного бустинга:

– CatBoost – для прогнозирования потока экстренных пациентов и вероятности осложнений (эффективная работа с категориальными признаками, устойчивость к переобучению);

– LightGBM – для прогнозирования длительности госпитализации (высокая скорость обучения, работа с большими объемами данных).

Выбор данных моделей обусловлен их высокой точностью на структурированных медицинских данных, способностью обрабатывать пропуски и категориальные переменные без дополнительной предобработки, а также устойчивостью к выбросам. Обучение моделей проводилось на синтетических данных, моделирующих структуру реальных медицинских записей.

Методы многокритериальной оптимизации (уровень оптимизации)

На уровне оптимизации применяются следующие методы многокритериальной оптимизации:

– Метод последовательных уступок – предполагает последовательное «ослабление» требований по наиболее приоритетным критериям для достижения компромиссного решения [9].

– Метод свертки критериев – сводит многокритериальную задачу к однокритериальной путем взвешенной суммы частных критериев с весами, задаваемыми ЛПР.

– Метод метрики в пространстве критериев – осуществляет поиск решения, наиболее близкого к идеальной точке в пространстве критериев (парето-оптимальность).

– Модифицированный метод ε-ограничений (Augmented ε-Constraint Method – AUGMECON) – для задач, требующих генерации полного множества Парето-оптимальных решений [7]. В отличие от классической версии, модификация включает автоматический выбор шага для ε-ограничений и адаптивное управление количеством генерируемых сценариев, что обеспечивает равномерное покрытие Парето-фронта и исключает слабо эффективные решения.

Управленческая задача формализуется как задача многокритериальной оптимизации (1):

$$F(x) = \left(f_1(x), f_2(x), f_3(x)\right) \to \min, \quad (1)$$

где: $f_1(x)$ – минимизация затрат на ресурсы;

$f_2(x)$ – максимизация качества медицинской помощи (время ожидания, доступность);

$f_3(x)$ – сокращение времени ожидания пациентом услуги.

Модифицированный метод ε-ограничений позволяет систематически генерировать Парето-фронт путем последовательного решения однокритериальных задач с ограничениями на остальные критерии. В отличие от классической версии, модификация включает автоматический выбор шага для ε-ограничений на основе анализа области допустимых значений и адаптивное управление количеством генерируемых сценариев в зависимости от вычислительных ресурсов и требований ЛПР.

В результате формируется множество Парето-оптимальных решений, из которых ЛПР выбирает наиболее предпочтительное с учетом текущей ситуации и приоритетов.

Программная реализация

Программный комплекс реализован на языках Python (модули прогнозирования и оптимизации) и C# (интерфейсная часть). Архитектура включает следующие модули:

– модуль ввода данных – графический интерфейс, загрузка из CSV, JSON, интеграция с внешними источниками через API;

– модуль прогнозирования – обученные модели CatBoost и LightGBM на базе Python;

– модуль оптимизации – реализация методов многокритериальной оптимизации с возможностью настройки параметров;

– модуль визуализации – построение графиков, диаграмм, Парето-фронтов для представления результатов;

– модуль формирования рекомендаций – генерация текстовых отчетов и электронных документов с оптимальными сценариями для ЛПР.

Программные продукты зарегистрированы в Роспатенте:

1. «Метод поиска оптимального решения в условиях наличия нескольких, противоречащих друг другу критериев для нахождения решений многокритериальных оптимизационных задач методом последовательных уступок в медицине и здравоохранении» (свидетельство № 2025618860 от 08.04.2025) [10];

2. «Система поддержки принятия управленческих решений на основе решения многокритериальных оптимизационных задач с линейными функциями цели в медицине, здравоохранении, биоинженерии и экономике» (свидетельство № 2025660356 от 23.04.2025) [9].

Данные и сценарии апробации

Для оценки эффективности предложенного гибридного подхода были проведены вычислительные эксперименты на синтетических данных – 500 записей пациентов с генерированными диагнозами, процедурами и временными параметрами. Данные генерировались с использованием генератора синтетических медицинских записей, который обеспечивает статистическую достоверность на уровне 89 % по сравнению с реальными распределениями, что позволяет с высокой степенью достоверности моделировать поведение системы.

Рассмотрены три типовых управленческих сценария:

1. Распределение пациентов по отделениям с учетом прогнозируемой загрузки отделений, специализации и клинической срочности.

2. Оптимизация записи на диагностические процедуры (КТ, МРТ) с учетом прогноза загрузки оборудования, времени ожидания и медицинских приоритетов.

3. Планирование закупок лекарственных средств на основе прогноза потребности, стоимости и сроков поставки.

Результаты вычислительных экспериментов

В таблице 1 представлены результаты применения гибридного подхода в сравнении с ручным планированием (осуществляемым экспертами) и использованием только методов оптимизации без прогнозирования (таб. 1). Все расчеты выполнены на синтетических данных.

Таблица 1

Сравнение эффективности подходов (время принятия решения, мин.)

Сценарий	Ручное планирование	Оптимизация без прогноза	Гибридный подход (прогноз + оптимизация)
Распределение пациентов по отделениям	45	8	5
Оптимизация записи на КТ/МРТ	30	4	3
Планирование закупок лекарств	120	15	12

Как видно из таблицы, применение гибридного подхода позволяет сократить время принятия решений в 8–10 раз по сравнению с ручным подходом и показывает дополнительное ускорение на 15–30 % по сравнению с использованием только оптимизационных методов без прогнозирования. Наибольший эффект достигнут для сценария планирования закупок, где точность прогноза потребности критически влияет на обоснованность решений.

На рис. 2 приведено сравнение времени принятия решений для трех подходов по каждому из сценариев.

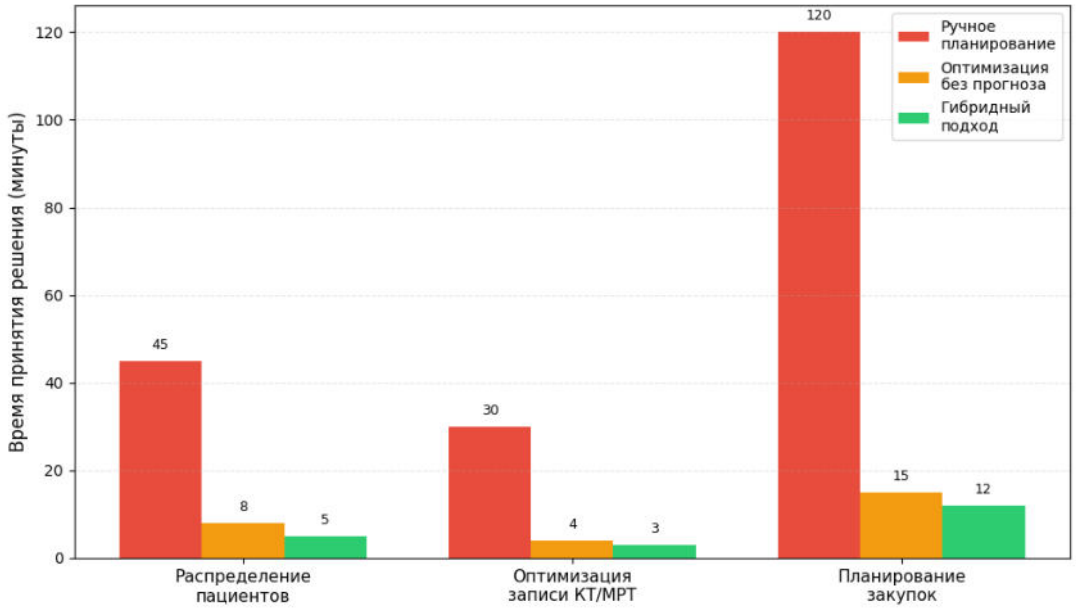


Рис. 2. Сравнение времени принятия решений при различных подходах (мин.)

Апробация и внедрение в деятельность медицинских организаций

В период 2026–2027 гг. программный комплекс планируется внедрить в многопрофильном стационаре. В результате внедрения ожидается достичь следующих измеримых результатов:

– сократить время принятия решений в 8–10 раз в зависимости от сценария;

– сократить трудозатраты управленческого персонала на решение плановых задач с 40 до 10 часов в месяц на одного специалиста (снижение на 75 %);

– снизить долю ошибок в распределении ресурсов с 12 % до 3 %;

– получить экономический эффект не менее 140 тыс. рублей в месяц на одну организацию за счет оптимизации закупок и использования оборудования (экономия бюджетных средств).

Предполагается, что апробация на реальных данных медицинских организаций и открытых медицинских данных подтвердит, что использование прогнозных моделей позволяет адаптировать оптимизационные решения к сезонным колебаниям и изменениям в потоках пациентов, что особенно важно для многопрофильных стационаров с высокой вариабельностью загрузки.

Результаты, полученные на синтетических данных, подтверждают целесообразность и высокую потенциальную эффективность предложенного подхода.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты подтверждают эффективность гибридного подхода. Ключевые преимущества предлагаемого решения:

1. Интеграция прогнозирования и оптимизации. Прогнозный модуль позволяет заблаговременно выявлять тенденции и адаптировать решения к изменяющимся условиям, а оптимизационный модуль обеспечивает системный учет всех критериев и выработку сбалансированных решений. Использование только оптимизации без прогноза сокращает время принятия решений в среднем в 7 раз, а гибридный подход – в 9 раз.

2. Гибкость и масштабируемость. Архитектура комплекса позволяет добавлять новые сценарии управления без перестройки ядра системы.

3. Практическая применимость. Разработанный программный комплекс интегрируется с существующими медицинскими информационными системами через стандартные форматы данных (CSV, JSON, API) и не требует замены уже используемого ПО.

Ограничениями текущего этапа исследования являются использование синтетических данных и необходимость наличия качественных исторических данных для обучения моделей. Запланирована апробация на реальных данных с последующей валидацией результатов, а также разработка генератора данных и системы контроля качества данных для подготовки данных к прогнозированию.

Выводы

1. Разработан гибридный подход к интеллектуальной поддержке принятия управленческих решений при распределении ресурсов медицинской организации, интегрирующий двухуровневую архитектуру: уровень прогнозирования на основе ансамблевых моделей градиентного бустинга и уровень многокритериальной оптимизации.

2. Вычислительные эксперименты показали, что гибридный подход сокращает время принятия управленческих решений в 8–10 раз по сравнению с ручным планированием.

3. Ожидаемые эффекты от внедрения включают снижение трудозатрат управленческого персонала на 75%, уменьшение доли ошибок в распределении ресурсов с 12% до 3% и экономический эффект не менее 140 тыс. рублей в месяц на одну организацию.

4. Предложенный подход масштабируем и может быть интегрирован в существующие медицинские информационные системы, что обеспечивает возможность его практического внедрения.

5. Дальнейшие исследования направлены на апробацию на реальных данных медицинских организаций, открытых медицинских данных, расширение функциональности комплекса за счет использования трансформерных архитектур для прогнозирования и интеграции с внешними источниками данных.

Список литературы

1. Thokala, P. Multiple criteria decision analysis for health care decision making – an introduction: report 1 of the ISPOR MCDA emerging good practices task force / P. Thokala, N. Devlin, K. Marsh [et al.] // Value in Health. – 2016. – Vol. 19, № 1. – P. 1–13. – DOI: 10.1016/j.jval.2015.12.003. – Текст : непосредственный.

2. Gongora-Salazar, P. The use of multicriteria decision analysis to support decision making in healthcare: an updated systematic literature review / P. Gongora-Salazar, S. Rocks, P. Fahr [et al.] // Value in Health. – 2023. – Vol. 26, № 7. – P. 780–790. – DOI: 10.1016/j.jval.2022.11.003.

3. Gaievskyi, S. Use of multi-criteria decision analysis (MCDA) to support decision-making during health emergencies: systematic literature review / S. Gaievskyi, N. Delfrate, A. Bahattab [et al.] // Frontiers in Public Health. – 2025. – Article 1584026. – DOI: 10.3389/fpubh.2025.1584026. – URL: https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2025.1584026/full (дата обращения: 13.08.2026). – Текст : электронный.

4. Aliakbar Hasani, A. Health care network design with multiple objectives and stakeholders / A. Aliakbar Hasani, M. Eskandarpour, D. Jones // Annals of Operations Research. – 2025. – Vol. 346. – P. 1027–1062. – DOI: 10.1007/s10479-023-05720-8.

5. Adams, R. Prospective, multi-site study of patient outcomes after implementation of the TREWS machine learning-based early warning system for sepsis / R. Adams, K. E. Henry, A. Sridharan [et al.] // Nature Medicine. – 2022. – Vol. 28. – P. 1455–1460. – DOI: 10.1038/s41591-022-01894-0.

6. Barichard, V. Multiobjective Optimization in Health Care / V. Barichard, M. Ehrgott // European Journal of Operational Research. – 2018. – Vol. 271, № 2. – P. 405–418. – DOI: 10.1016/j.ejor.2018.01.005.

7. Mavrotas, G. Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems / G. Mavrotas // Applied Mathematics and Computation. – 2009. – Vol. 213, № 2. – P. 455–465. – DOI: 10.1016/j.amc.2009.03.037.

8. Weerasena, L. Multi-criteria decision making for hospital resource allocation / L. Weerasena, M. Wiboonrat // Journal of Healthcare Engineering. – 2020. – Vol. 2020. – Article ID 8812345. – DOI: 10.1155/2020/8812345.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660356 Российская Федерация. Система поддержки принятия управленческих решений на основе решения многокритериальных оптимизационных задач с линейными функциями цели в медицине, здравоохранении, биоинженерии и экономике : заявл. 04.04.2025 : опубл. 23.04.2025 / В. В. Седых, О. В. Бахарева ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – EDN ZQUQRG.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618860 Российская Федерация. Метод поиска оптимального решения в условиях наличия нескольких противоречащих друг другу критериев для нахождения решений многокритериальных оптимизационных задач методом последовательных уступок в медицине и здравоохранении : заявл. 04.04.2025 : опубл. 08.04.2025 / В. В. Седых, О. В. Бахарева ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – EDN PVFLLX.

УДК 616-053.3

ПРОГРАММА «ЦИФРОВОЙ ПОМОЩНИК ПЕДИАТРА: КАЛЬКУЛЯТОР ПИТАНИЯ ДЕТЕЙ ПЕРВОГО ГОДА ЖИЗНИ» – ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВРАЧА-ПЕДИАТРА В АМБУЛАТОРНОЙ ПРАКТИКЕ ПУТЕМ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ПИТАНИЯ ДЕТЕЙ ПЕРВОГО ГОДА ЖИЗНИ

Султанов М.И., магистрант ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;
ORCID: 0009-0007-4493-6088;
Хамидуллин Б.Р., студент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
ORCID: 0009-0005-7493-5727;
E-mail: bulatufa@inbox.ru;
Прокофьева С.Н., студент ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
ORCID: 0009-0002-1843-5742;
E-mail: prokofyeva2020@mail.ru;
Шангареева З.А., к.м.н., доцент кафедры факультетской педиатрии и неонатологии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
Вахитова Г.А., к.м.н., доцент кафедры педиатрии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
Глебов С.Г., к.ф.-м.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой «Информационные технологии и математика» по научной работе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан

«DIGITAL PEDIATRICIAN'S ASSISTANT: NUTRITION CALCULATOR FOR INFANTS» PROGRAM – OPTIMIZING PEDIATRIC OUTPATIENT PRACTICE THROUGH PERSONALIZED NUTRITION CALCULATIONS FOR INFANTS

Sultanov M.I., Master's student, Ufa State Petroleum Technological University,
ORCID: 0009-0007-4493-6088;
E-mail: paucam.net@yandex.ru;

Khamidullin B.R., student, Bashkir State Medical University;
ORCID: 0009-0005-7493-5727;
E-mail: bulatufa@inbox.ru;
Prokofyeva S.N., student, Bashkir State Medical University;
ORCID: 0009-0002-1843-5742;
E-mail: prokofyeva2020@mail.ru;
Shangareeva Z.A., Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Faculty Pediatrics and Neonatology, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of Russia;
ORCID: 0000-0001-8745-9989;
E-mail: shangareeva2001@mail.ru;
Vakhitova G.A., Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Pediatrics, Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of Russia;
ORCID: 0000-0001-9452-0901;
E-mail: vgafn@bk.ru;
Glebov S.G., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Department of Information Technologies and Mathematics for Research at Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Republic of Bashkortostan;
ORCID: 0009-0003-8919-8825;
E-mail: glebskie@gmail.com

Аннотация

Рациональное питание в неонатальном и грудном периодах жизни имеет огромное значение в формировании здоровья ребенка. Недостаточно сбалансированное вскармливание на первом году жизни может привести к задержке физического и нервно-психического развития, а также к возникновению неинфекционных заболеваний. В связи с этим возникает необходимость тщательного контроля за характером питания детей первого года жизни врачом-педиатром в условиях амбулаторной практики. Однако, на качество нутритивной поддержки детей оказывает высокая загруженность специалистов первичного звена. В рамках ограниченного по времени амбулаторного приема педиатру необходимо: собрать анамнез, провести клинический осмотр, оценить физическое развитие и сформулировать рекомендации. В подобных условиях детальный расчет рациона питания нередко отходит на второй план либо выполняется приблизительно, что отрицательно сказывается на точности назначений. Поэтому перспективным направлением решения данной проблемы является внедрение цифровых инструментов во врачебную практику.

В статье авторами подробно описаны функциональные возможности программного продукта «Цифровой помощник педиатра: Калькулятор питания детей первого года жизни», разработанного на языке Python с использованием библиотеки Tkinter для создания графического интерфейса. Данная программа позволяет осуществить индивидуальный расчёт питания для детей первого года жизни. Врач вводит ключевые антропометрические (вес при рождении, текущий вес, возраст) и анамнестические данные ребенка. На основе введенных параметров ребенка программа выбирает смесь из перечня представленных в базе данных «Цифрового помощника» и устанавливает индивидуальный режим кормления, включая объём и частоту приемов пищи.

Основные преимущества разработанного инструмента «Цифровой помощник педиатра: Калькулятор питания детей первого года жизни» заключаются: в экономии времени, позволяющей врачу сконцентрироваться на качественном осмотре ребенка во время приема; в автоматизации расчетов индивидуального режима питания ребенка, ориентированного на национальные и международные руководства по вскармливанию детей первого года жизни.

Материалы статьи будут полезны практикующим педиатрам, ординаторам и разработчикам медицинского программного обеспечения, заинтересованным в создании подобных систем поддержки принятия решений в области детского питания.

Ключевые слова: нутритивная поддержка, грудное и искусственное вскармливание, прикорм, цифровой помощник педиатра, дети первого года жизни, микробиота, профилактика

Abstract

Rational nutrition during the neonatal and infant periods of life is of great importance in shaping a child's health. Insufficiently balanced feeding during the first year of life can lead to delays in physical and mental development, as well as to the development of non-infectious diseases. In this regard, there is a need for careful monitoring of the diet of children in their first year of life by a pediatrician in an outpatient setting. However, the quality of nutritional support for children is affected by the high workload of primary care specialists. Within the time constraints of an outpatient appointment, a pediatrician needs to: collect a medical history, conduct a clinical examination, assess physical development, and formulate recommendations. Under such conditions, a detailed calculation of the diet often takes a back seat or is carried out approximately, which negatively affects the accuracy of the prescriptions. Therefore, a promising direction for solving this problem is the introduction of digital tools into medical practice.

In the article, the authors describe in detail the functionality of the software product "Pediatrician's Digital Assistant: Nutrition Calculator for Children in the First Year of Life," which was developed in Python using the Tkinter library to create a graphical interface. This program allows for an individual calculation of nutrition for children in their first year of life. The doctor enters the child's key anthropometric data (birth weight, current weight, age) and anamnestic data. Based on the child's entered parameters, the program selects a formula from the list provided in the "Digital Assistant" database and establishes an individual feeding regimen, including the volume and frequency of meals.

The main advantages of the developed tool "Digital Pediatric Assistant: Nutrition Calculator for Children in the First Year of Life" are: saving time, which allows the doctor to focus on a thorough examination of the child during the appointment; automating the calculation of the child's individual nutrition regimen, based on national and international guidelines for feeding children in the first year of life.

The materials of the article will be useful for practicing pediatricians, residents, and developers of medical software who are interested in creating similar decision-support systems in the field of child nutrition.

Keywords: nutritional support, artificial feeding, complementary feeding, pediatrician's digital assistant, infants, microbiota, prevention

Введение

Актуальность исследования. Первый год жизни ребенка – важный этап, определяющий будущее здоровье человека, так как в этот период закладываются основы не только физического и нервно-психического развития, но и пищевое поведение, иммунный статус и формируется возможная предрасположенность к хроническим заболеваниям. В связи с этим важным аспектом правильного развития ребёнка является оптимально подобранное питание и индивидуально разработанный рацион для конкретного пациента. Но это часто бывает невозможно реализовать в условиях амбулаторного приёма: участковый врач за короткое время должен собрать анамнез, провести клинический осмотр и дать оценку физического развития ребёнка. Эффективно и быстро решить эту проблему может, на наш взгляд, «Цифровой помощник педиатра: Калькулятор питания детей первого года жизни», который при вводе основных антропометрических и анамнестических данных пациента осуществляет расчет рациона и графика питания ребенка первого года жизни.

Цель исследования – разработка программы «Цифровой помощник педиатра: Калькулятор питания детей первого года жизни» и описание основных этапов её работы. Данная цель

обуславливает конкретные задачи: 1) характеристика алгоритма работы цифровой программы; 2) характеристика результатов работы цифрового приложения.

Степень разработанности темы исследования. В данной работе авторы опирались на научные статьи, связанные с проблемой сбалансированного питания детей первого года жизни, так как неоптимальное питание ребенка приводит к задержке роста, к риску нейроразвивающих расстройств и кардиометаболических заболеваний во взрослом возрасте [1].

Учёными доказано, что грудное вскармливание защищает от ряда заболеваний и смертности от респираторных, желудочно-кишечных инфекций, от синдрома внезапной детской смерти в неонатальном периоде, в младенчестве и в раннем детстве [2]. Грудное вскармливание снижает риск развития пищевой аллергии и способствует формированию разнообразной кишечной микробиоты [3]. Исследователи часто отмечают, что у младенцев, не получавших грудное молоко, может быть повышен риск поведенческих и эмоциональных проблем, например, синдром дефицита внимания, синдром гиперактивности и депрессия [4].

Об этом важно помнить врачу-педиатру особенно при наблюдении за пациентами, находящимися на искусственном вскармливании, при подборе смеси. Исследователи утверждают, что повышенный уровень белка в детских смесях чрезмерно стимулирует сигнализацию мишени рапамицина (mTORC1), что приводит к усилению адипогенеза, снижению кетогенеза, быстрому увеличению веса и повышению риска детского ожирения [3]. Не должны оставаться без внимания врача и продукты прикорма, они должны содержать полезные для организма микронутриенты, пищевые волокна и исключать из состава прикорма сахар и хлорид натрия [5].

Авторы предполагают, что все вышеперечисленные аспекты (в автоматическом режиме, экономя время педиатра) поможет учесть, скорректировать и сформулировать индивидуальные рекомендации для питания детей первого года жизни программа «Цифровой помощник педиатра: Калькулятор питания детей первого года жизни».

Основная часть исследования

Программная реализация. Для создания цифрового помощника был выбран язык программирования Python в среде разработки VSCode. Данный выбор языка обусловлен рядом особенностей, делающих Python оптимальным инструментом для создания медицинских приложений. Python отличается лаконичным синтаксисом и небольшим количеством ключевых слов, что обеспечивает высокую читаемость кода и упрощает отладку. Язык обладает обширной стандартной библиотекой, портативной и совместимой с основными операционными системами (UNIX, Windows, Macintosh). Поддержка интерактивного режима позволяет выполнять код в терминале и оперативно тестировать фрагменты программы без компиляции. Python функционирует на различных аппаратных платформах, сохраняя единый интерфейс, что особенно важно для медицинских приложений, используемых в учреждениях с разнородным техническим оснащением [6].

Для реализации графического пользовательского интерфейса была выбрана библиотека Tkinter. Ключевым преимуществом Tkinter является кроссплатформенность – разработанные с ее использованием приложения функционируют идентично в операционных системах Windows, macOS и Linux без модификации исходного кода. При этом визуальные элементы интерфейса отображаются с использованием нативных компонентов целевой операционной системы, благодаря чему внешний вид программы органично вписывается в среду конкретной платформы. Архитектурно Tkinter построена на основе иерархической модели: главное окно выступает корневым контейнером, в котором размещаются все остальные элементы интерфейса. В качестве дочерних компонентов выступают виджеты – стандартные элементы управления, такие как текстовые поля (Entry), надписи (Label), кнопки (Button), списки и другие. Виджеты могут группироваться во вложенные контейнеры (фреймы), что обеспечивает гибкость при построении сложных макетов [6].

Система контроля версий Git обеспечивала управление изменениями в процессе разработки. Git – это система контроля версий, которая записывает историю добавления и изменения файлов в папке и используется более чем 90% программистов по всему миру для отслеживания изменений в своем коде. Многие функции Git тесно интегрированы в Visual Studio Code [7].

Таким образом, выбор технологического стека (Python, Tkinter, VSCode, Git) обусловлен требованиями к кроссплатформенности, надежности и простоте разработки, что делает его оптимальным для создания медицинского приложения «Цифровой помощник педиатра: Калькулятор питания детей первого года жизни».

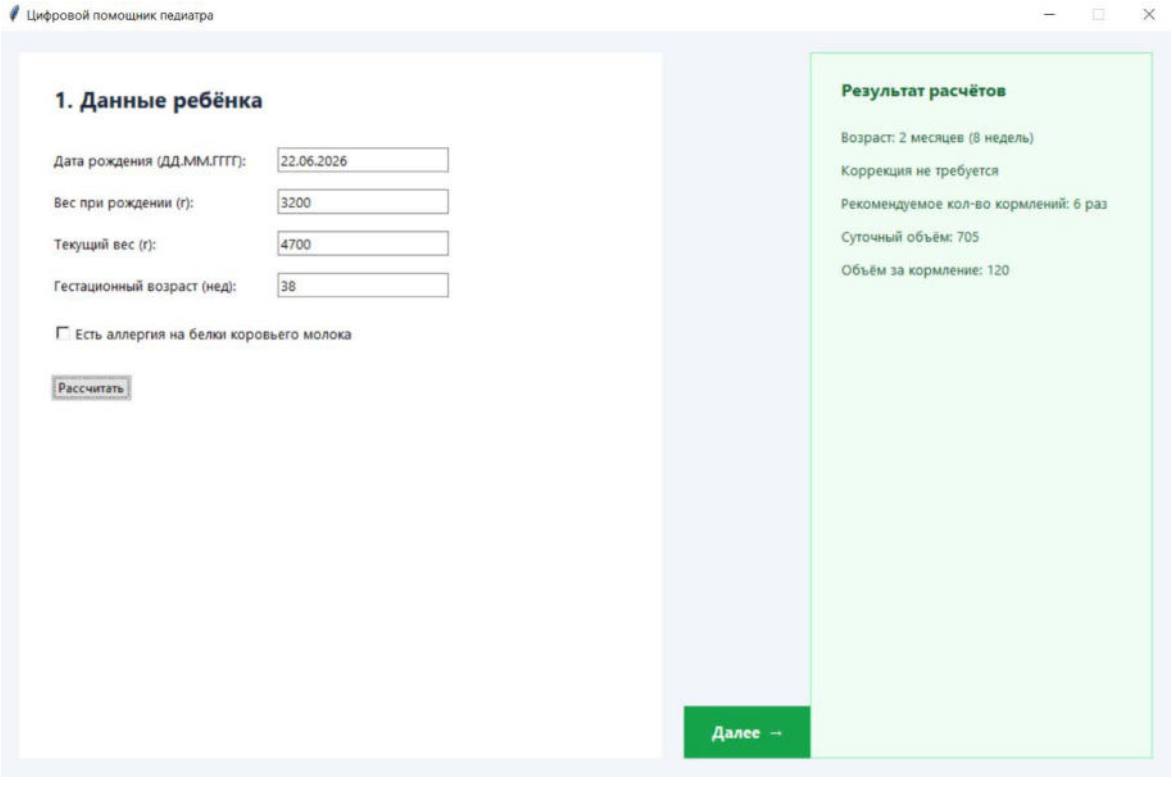


Рис. 1. Модуль ввода данных. Расчет рекомендованного количества кормлений ребенка, суточного объема пищи, объема за одно кормление на примере ребенка возрастом 2 мес.

Алгоритм работы приложения

1. Модуль ввода данных. Врач вводит антропометрические и анамнестические показатели ребенка:

– дата рождения (дд.мм.гггг);
– вес при рождении (г.);
– текущий вес (г.);
– гестационный возраст (нед.).
– флаг проверки аллергии на белки коровьего молока.

Ввод данных осуществляется через текстовые поля, реализованные с использованием виджетов Tkinter (Entry). Корректность данных проверяется на этапе ввода – допустимы только числовые значения в заданных диапазонах.

На основе введенных данных программа автоматически предлагает количество кормлений ребенка в зависимости от его возраста, рекомендованный суточный объем питания, а также объем пищи на одно кормление. Данные вычисления осуществляются по двум алгоритмам, представленным ниже.

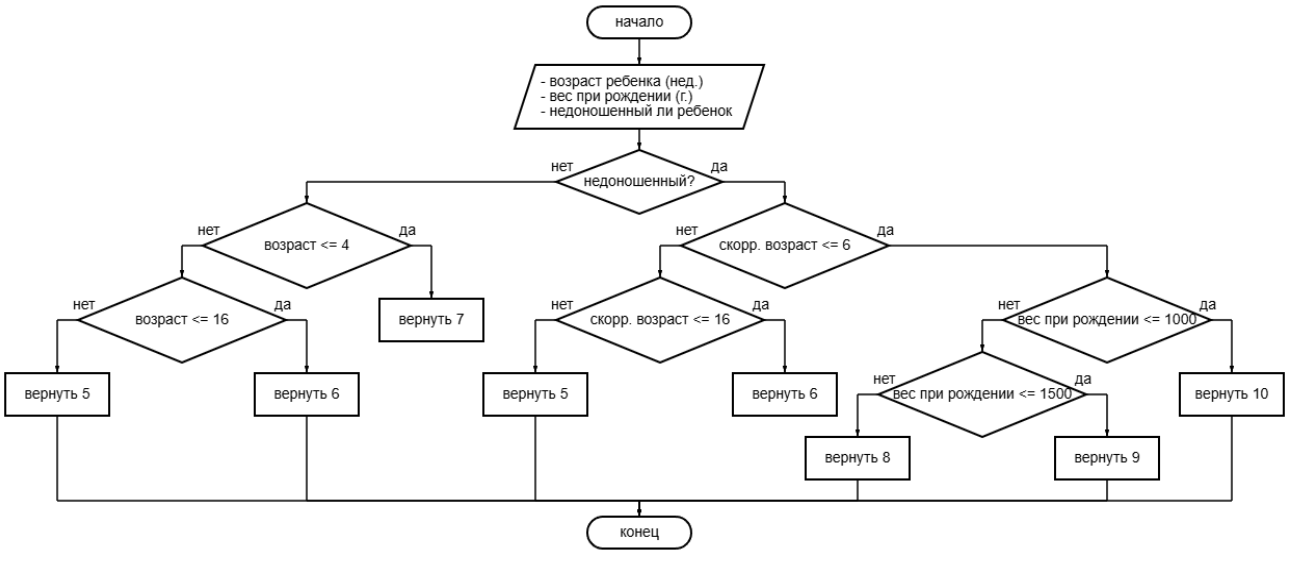


Рис. 2. Алгоритм вычисления количества кормлений

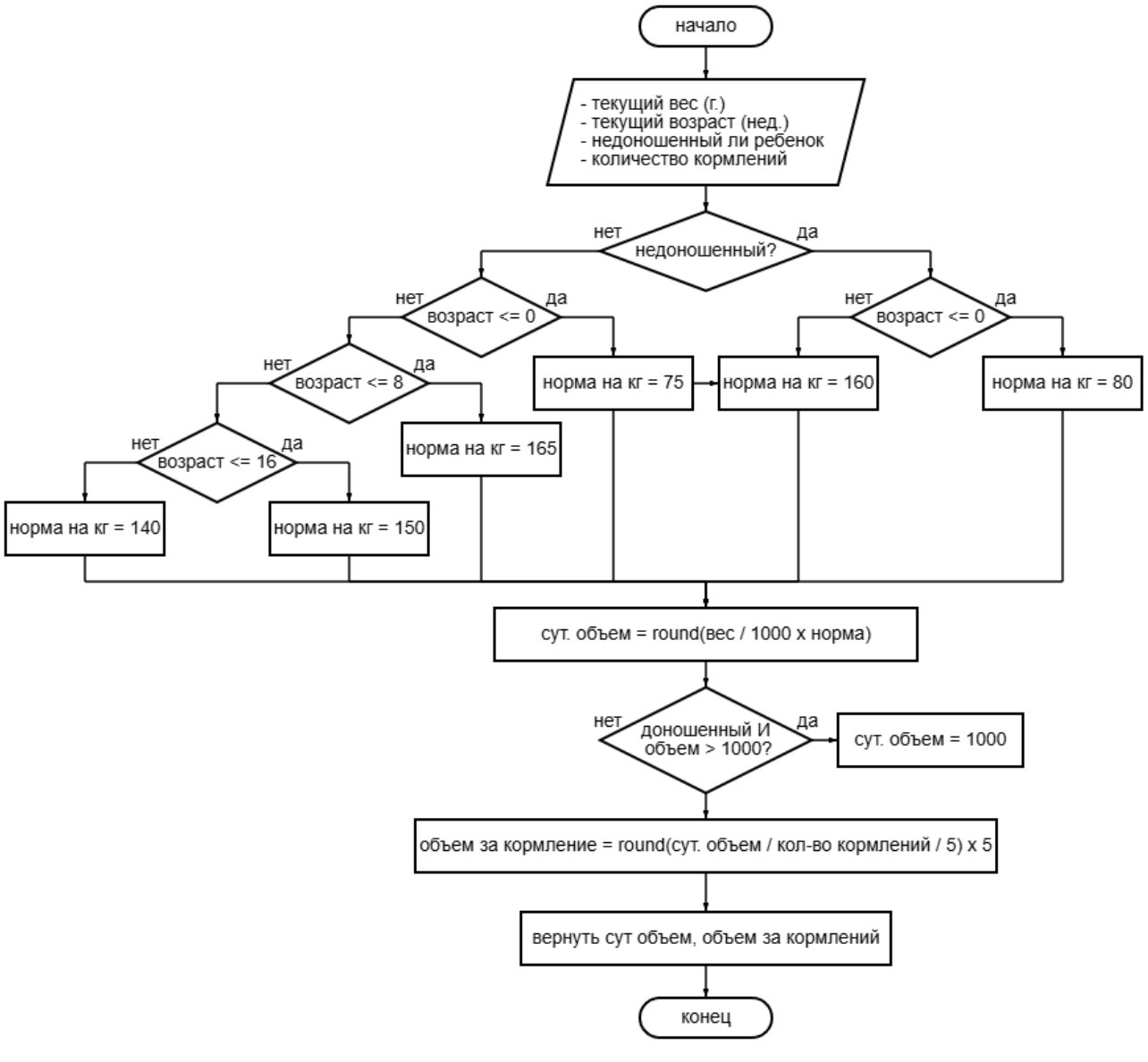


Рис. 3. Алгоритм вычисления суточного объема питания

Для недоношенных детей программа автоматически рассчитывает скорректированный возраст по следующей формуле:

$$CorrAge = ChronologicalAge - (40 - GestAge),$$

где *CorrAge* – скорректированный возраст (нед.), *ChronologicalAge* – постанатальный (хронологический) возраст (нед.), *GestAge* – гестационный возраст (нед.).

Скорректированный возраст позволяет точнее определить суточную потребность ребенка в питательных веществах, поскольку у недоношенных детей календарный возраст не отражает фактическую функциональную способность организма.

2. Модуль выбора смеси. Врачу предлагается перечень молочных смесей включённых в базу данных программы:

а) аминокислотные: Альфаре Амино, Неокейт LCP, Nutrilon аминокислоты;

б) высокогидролизованные: Симилак Алиментум, Frisolac Gold PEP AC, Алфаре, Алфаре Аллерджи, Нутрилак Premium Пептиди СЦТ, Nutrilon Пепти Аллергия, Nutrilon Пепти Гастро, Пептикейт, Frisolac Gold PEP;

в) безлактозные: NAN Expert Pro Безлактозная, Nutrilon безлактозный, Nutrilac Premium Соя (без лактозы), Безлактозная смесь Similac Изомил на основе соевого белка, Матрена (Соя) Matrena Soy, Nutrilac Premium Proallergy Amino, Nutrilon Пепти Гастро;

г) антирефлюксные: NAN Антирефлюкс, Nutrilon Антирефлюкс, Nutrilac Антирефлюксный, Similac Антирефлюксный.

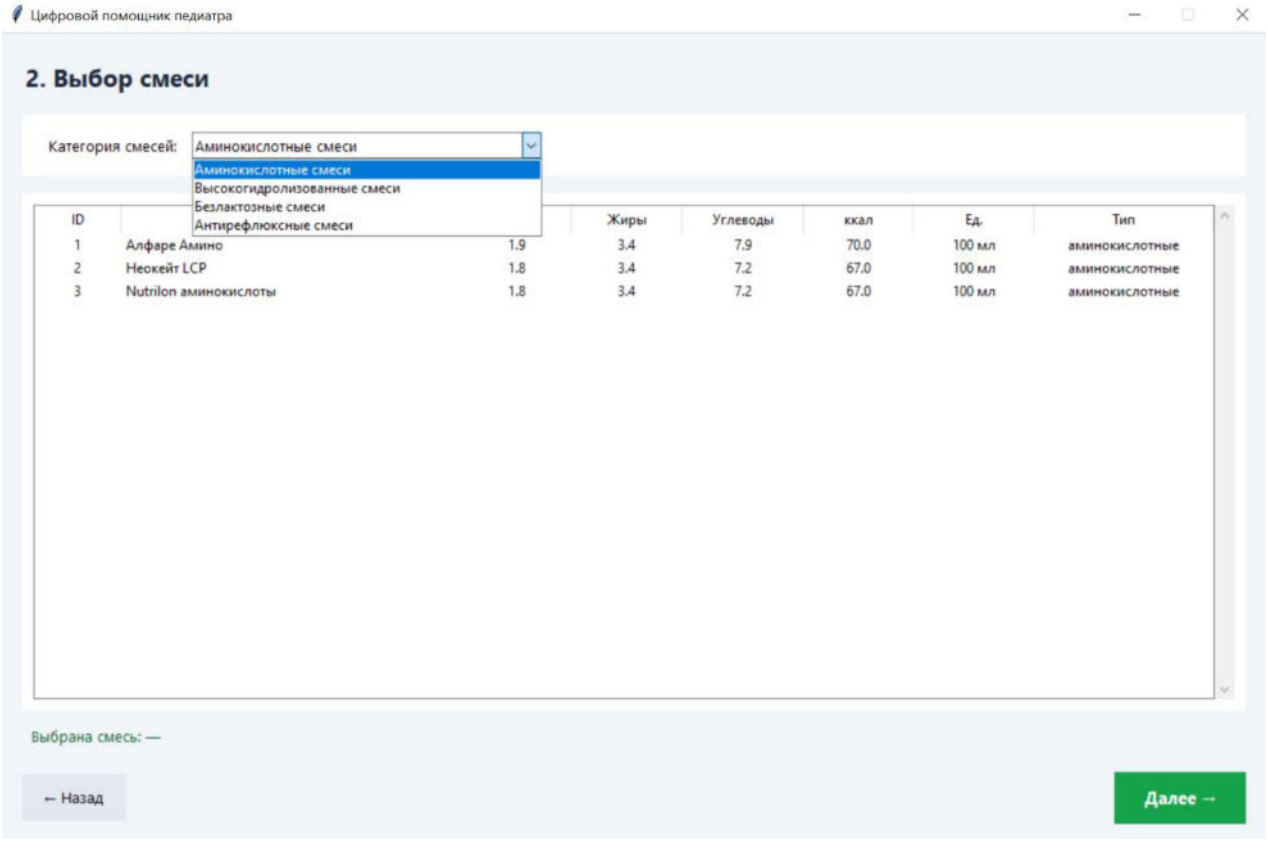


Рис. 4. Модуль выбора смеси

3. Модуль выбора расписания кормлений. Определившись со смесью, врач устанавливает время первого кормления, и программа автоматически составляет индивидуальный режим питания с возможностью корректировки первого кормления и объема разового приема смеси с учетом прикорма.

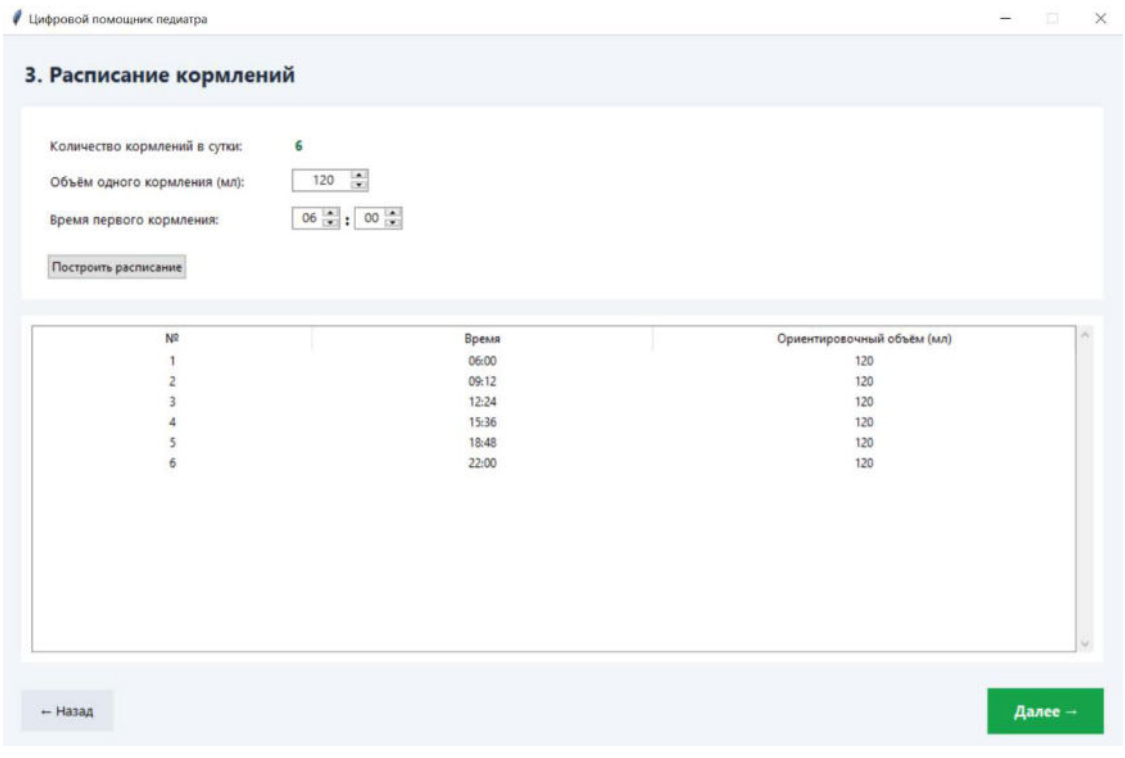


Рис. 5. Модуль выбора расписания кормлений

4. Модуль расчета и визуализации. В итоге программа формирует детализированный суточный план питания, включающий:

– суточный объем питания (мл);
– количество кормлений;
– объем одного кормления (мл);
– график кормлений с указанием времени.

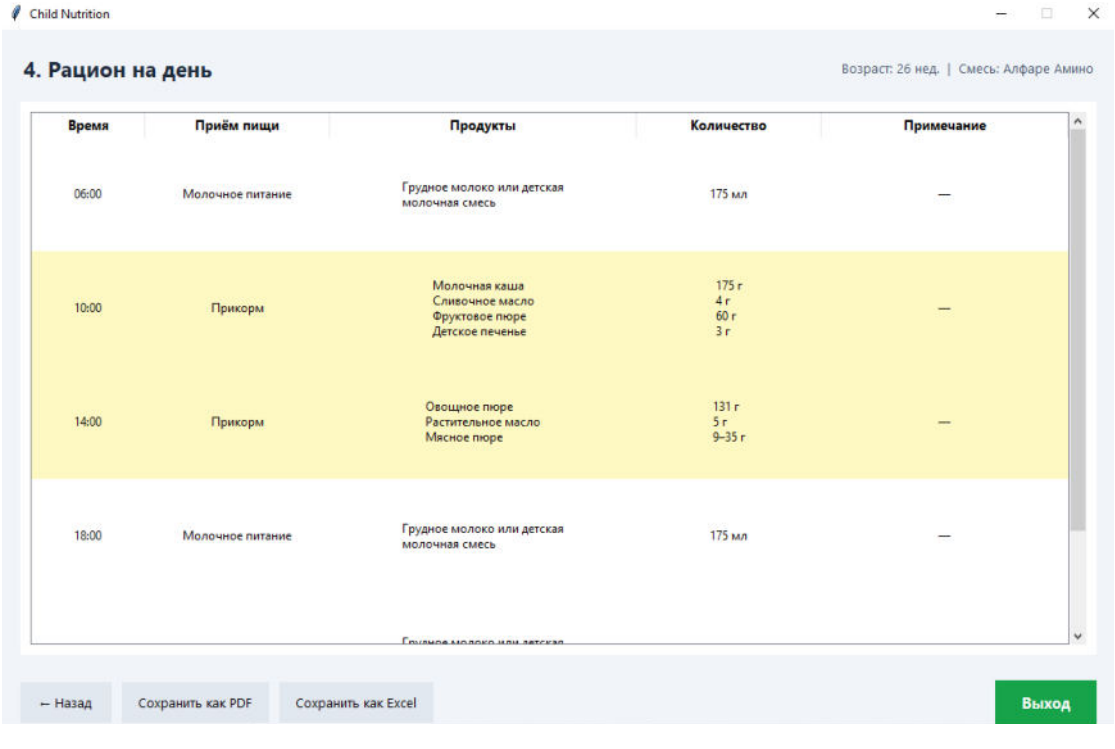


Рис. 6. Рацион питания на день

Заметим, для детей старше 4-6 месяцев в итоговый рацион программа автоматически включается продукты прикорма. Их объем и состав подбираются с учетом возраста и веса ребенка, при этом объем основного питания (смеси или грудного молока) пропорционально корректируется. Прикорм вводится в следующей последовательности:

а) первый прикорм – овощное пюре/каша, вводится в 4-6 месяцев или позже, в зависимости от веса ребенка (вес > 6500 грамм – овощное пюре, вес < 6500 грамм – каша); с 4-6 месяцев меню дополняется фруктовым пюре в качестве блюда коррекции;

б) второй прикорм – каша или овощное пюре (в зависимости от первого прикорма), вводится с 5 месяцев. С 6 месяцев меню дополняется мясным пюре и детским печеньем;

в) третий прикорм – кефир и творог, вводится с 8 месяцев;

г) с 8 месяцев дополнительно вводится пшеничный хлеб (сухарик) и рыбное пюре [8].

Основные положительные характеристики разработанной программы

Предложенный программный продукт обладает следующими преимуществами:

1. Автоматизация расчетов – исключает необходимость ручного вычисления суточного объема питания и количества кормлений, что снижает вероятность арифметических ошибок.

2. Экономия времени на приеме – сокращает временные затраты врача на сбор анамнеза и расчет рациона, позволяя уделить больше внимания клиническому осмотру ребенка и консультации родителей.

3. Персонализированный подход – учитывает индивидуальные антропометрические и анамнестические данные ребенка, что повышает точность рекомендаций.

4. Составление рекомендаций с опорой на Программу оптимизации вскармливания детей первого года жизни.

Заключение

Разработанный программный продукт «Цифровой помощник педиатра: Калькулятор питания детей первого года жизни» представляет собой эффективный инструмент оптимизации принятия врачебных решений в области нутритивной поддержки детей первого года жизни. Данное исследование перспективно, так как может быть направлено: на расширение базы данных продуктов прикорма, которое позволит более детально индивидуализировать расчет питания ребенка; на проведение клинических испытаний для оценки эффективности программы в реальной амбулаторной деятельности и на внедрение результатов работы в широкую медицинскую практику.

Список литературы

1. Salvatore, S. New Perspectives in Nutritional Management for Neonatal Health / S. Salvatore, M. Baldassarre, M. L. Giannì, M. Agosti // Nutrients. – 2026. – Vol. 18, № 8. – Art. 1251. – DOI: 10.3390/nu18081251.

2. Panteris, E. Breastfeeding in Infancy and Adult Health: A Narrative Review / E. Panteris, I. Kakatsaki, O. Galani [et al.] // Children. – 2026. – Vol. 13, № 2. – Art. 286. – DOI: 10.3390/children13020286.

3. He, X. Impact of formula protein quantity and source on infant metabolism: serum, urine, and fecal metabolomes of a randomized controlled study / X. He, U. Tinghäll Nilsson, D. O. Mishchuk [et al.] // Am J Clin Nutr. – 2025. – Vol. 121, № 4. – P. 853–864. – DOI: 10.1016/j.ajcnut.2025.02.002.

4. Kariyawasam, K. P. Comparative Analysis of Breastfeeding and Infant Formulas: Short- and Long-Term Impacts on Infant Nutrition and Health / K. P. Kariyawasam, G. Somaratne, S. D. Dillimuni, U. Walallawita // Food Sci Nutr. – 2025. – Vol. 13, № 9. – Art. e70788. – DOI: 10.1002/fsn3.70788.

5. Макарова, С.Г. Практические рекомендации по введению прикорма с позиций современных представлений о профилактике пищевой аллергии / С. Г. Макарова // Лечащий Врач. – 2026. – № 6. – С. 64–73. – DOI: 10.51793/OS.2026.29.6.009.

6. Отахонова, С. О. Разработка алгоритма обнаружения заболеваний с помощью медицинских изображений и их экспериментальная проверка / С. О. Отахонова // Современные инновации, системы и технологии. – 2025. – Т. 5, № 1. – С. 2027–2039. – DOI: 10.47813/2782-2818-2025-5-1-2027-2039.

7. Chen, K. Y. GitHub is an effective platform for collaborative and reproducible laboratory research / K. Y. Chen, M. Toro-Moreno, A. R. Subramaniam // PLoS Biol. – 2025. – Vol. 23, № 2. – Art. e3003029. – DOI: 10.1371/journal.pbio.3003029.

8. Программа оптимизации вскармливания детей первого года жизни в Российской Федерации: методические рекомендации / ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России. – Москва: [б. и.], 2019. – ISBN 978-5-6042256-5-3.

УДК 614.2

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ: РЕЗУЛЬТАТЫ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Хисамутдинов А.Н., к.м.н., заведующий кафедрой цифровых технологий в здравоохранении, КГМА – филиал ФГАОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, доцент кафедры общественного здоровья и организации здравоохранения ФГБОУ ВО «Казанский ГМУ»; заместитель главного врача Республиканского клинического онкологического диспансера Министерства здравоохранения Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0001-6136-7568;
E-mail: alfirhis@mail.ru;
Альмухаметов А.А., ассистент кафедры общественного здоровья и организации здравоохранения ФГБОУ ВО «Казанский ГМУ», ассистент кафедры цифровых технологий в здравоохранении КГМА – филиал ФГАОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, руководитель проектов ЗАО «Витакор»;
ORCID: 0000-0002-4507-4914;
E-mail: artyr_efendi@mail.ru;
Галиахметов А.И., ассистент кафедры общественного здоровья и организации здравоохранения ФГБОУ ВО «Казанский ГМУ», ассистент кафедры цифровых технологий в здравоохранении КГМА – филиал ФГАОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, руководитель проектов ЗАО «Витакор»;
ORCID: 0000-0003-1267-9973;
E-mail: megane999@gmail.com;
Абашев А.Р., к.м.н., министр здравоохранения Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0002-6584-6803;
E-mail: almir75@mail.ru;
Гильманов А.А., профессор, д.м.н., заведующий кафедрой общественного здоровья и организации здравоохранения ФГБОУ ВО «Казанский ГМУ»;
ORCID: 0000-0002-5505-6277;
E-mail: anas.gilmanov@kazangmu.ru;
Юсупова Н.З., д.м.н., профессор кафедры общей гигиены КГМА – филиал ФГАОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-5474-2111;
E-mail: kafedra.2013@mail.ru

FACTORS INFLUENCING DIGITAL COMPETENCIES OF HEALTHCARE PROFESSIONALS IN THE USE OF STATE MEDICAL INFORMATION SYSTEMS: RESULTS OF A SOCIOLOGICAL STUDY

Khisamutdinov A.N., Cand.Med.Sci., Head of the Department of Digital Technologies in Healthcare, Kazan State Medical Academy; Docent, Department of Public Health and Healthcare Organization, Kazan State Medical University; Deputy Chief Physician of the Republican Clinical Oncology Dispensary of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0001-6136-7568;
E-mail: alfirhis@mail.ru;
Almukhametov A.A., assistant of the Department of Public Health and Healthcare Organization, Kazan State Medical University, Assistant of the Department of Digital Technologies in Healthcare, KSMAA – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian Ministry of Health project Manager of Vitakor CJSC;
ORCID: 0000-0002-4507-4914;
E-mail: artyr_efendi@mail.ru;
Galiakhmetov A.I., assistant of the Department of Public Health and Healthcare Organization, Kazan State Medical University, Assistant of the Department of Digital Technologies in Healthcare, KSMAA – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian Ministry of Health, Project Manager of Vitakor;
ORCID: 0000-0003-1267-9973;
E-mail: megane999@gmail.com;
Abashev A.R., Candidate of Medical Sciences, Minister of Health of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0002-6584-6803;
E-mail: almir75@mail.ru;
Gilmanov A.A., professor, Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Public Health and Healthcare Organization, Kazan State Medical University;
ORCID: 0000-0002-5505-6277;
E-mail: anas.gilmanov@kazangmu.ru;
Yusupova N.Z., MD, Professor of the Department of General Hygiene, KSMAA – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian Ministry of Health;
ORCID: 0009-0004-5474-2111;
E-mail: kafedra.2013@mail.ru

Аннотация

Актуальность исследования обусловлена цифровой трансформацией здравоохранения и необходимостью развития цифровых компетенций медицинских работников. Установлен высокий уровень цифровой готовности специалистов, при этом возраст и стаж отрицательно связаны с уровнем цифровых компетенций. Перспективным направлением является непрерывное обучение персонала.

Ключевые слова: цифровые компетенции, цифровизация здравоохранения, медицинская информационная система, медицинские работники, искусственный интеллект, цифровая трансформация

Abstract

The digital transformation of healthcare highlights the growing importance of developing healthcare professionals' digital competencies. The study demonstrated a high level of digital readiness among medical professionals, while age and years of professional experience were negatively associated with the level of digital competencies. Continuous professional education is considered a key direction for further competency development.

Keywords: digital competencies, healthcare digitalization, medical information systems, healthcare professionals, artificial intelligence

Введение

Развитие цифрового здравоохранения является одним из ключевых направлений модернизации системы оказания медицинской помощи. Государственные медицинские информационные системы обеспечивают интеграцию клинических процессов, электронный документооборот, поддержку принятия врачебных решений и формирование единого цифрового пространства здравоохранения. Вместе с тем эффективность внедрения информационных технологий определяется не только техническими возможностями программных продуктов, но и уровнем цифровых компетенций пользователей [1–3].

Под цифровыми компетенциями медицинских работников понимается совокупность знаний, навыков и практического опыта, необходимых для безопасного и эффективного использования цифровых технологий в профессиональной деятельности [4]. Современные исследования демонстрируют, что недостаточный уровень цифровой грамотности является одним из факторов, ограничивающих успешное внедрение медицинских информационных систем и технологий искусственного интеллекта [5, 6].

В связи с этим особую актуальность приобретает оценка факторов, определяющих уровень цифровых компетенций медицинских работников и их готовность участвовать в дальнейшем развитии цифровой инфраструктуры здравоохранения.

Цель исследования

Оценить уровень цифровых компетенций медицинских работников и определить факторы, влияющие на их формирование в условиях использования государственных медицинских информационных систем.

Материал и метод

Проведено одномоментное анкетное исследование, включившее 295 медицинских работников различных специальностей. В исследовании анализировались уровень цифровых компетенций, возраст, стаж профессиональной деятельности, отношение к цифровизации здравоохранения, медицинским информационным системам, технологиям искусственного интеллекта, а также готовность участвовать в совершенствовании медицинских информационных систем.

Статистическая обработка выполнена с использованием программного обеспечения StatTech 4.15.0. Для количественных данных рассчитывали медиану и межквартильный размах. Категориальные показатели представлены абсолютными и относительными величинами. Для оценки взаимосвязей использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Сравнение независимых групп проводили с помощью критерия Краскела-Уоллиса с последующим апостериорным анализом по Данну при наличии статистически значимых различий. Для оценки влияния возраста и стажа на уровень цифровых компетенций построены модели линейной регрессии. Различия считались статистически значимыми при $p<0,05$.

Результаты исследования

В исследовании приняли участие 295 медицинских работников различных специальностей. Медианный возраст респондентов составил 44 года (Q_1–Q_3: 36–52 года), медианный стаж профессиональной деятельности – 22 года (Q_1–Q_3: 11–30 лет). Уровень цифровых компетенций оценивался по десятибалльной шкале и составил 8 баллов (Q_1–Q_3: 5–9), что свидетельствует о достаточно высоком уровне владения цифровыми технологиями среди большинства участников исследования. Вместе с тем межквартильный размах указывает на сохраняющуюся неоднородность уровня цифровой подготовки медицинских работников.

Анализ отношения респондентов к развитию цифровых компетенций показал высокую мотивацию к профессиональному совершенствованию. Желание развивать цифровые компетенции выразили 233 человека (79,0%; 95% ДИ 73,9–83,5), тогда как отрицательный ответ дали

лишь 16 участников (5,4%). Еще 46 респондентов (15,6%) затруднились с ответом. Полученные данные свидетельствуют о сформированном запросе медицинских работников на дальнейшее повышение уровня цифровой грамотности и освоение современных информационных технологий.

Оценка восприятия цифровизации здравоохранения продемонстрировала преимущественно позитивное отношение специалистов к происходящим изменениям. Более половины участников исследования (56,3%) рассматривают цифровизацию как инструмент, упрощающий профессиональную деятельность. Еще 30,2% считают, что цифровые технологии оказывают положительное влияние в отдельных направлениях работы. Лишь 2,4% респондентов воспринимают цифровизацию как дополнительную нагрузку, что свидетельствует о высокой степени принятия цифровой трансформации профессиональным сообществом.

Практическая эффективность внедрения медицинских информационных систем также получила положительную оценку. Почти три четверти участников исследования (72,9%) отметили, что использование медицинской информационной системы позволило повысить эффективность выполнения профессиональных обязанностей. Для 17,6% респондентов внедрение информационной системы не оказало существенного влияния на рабочие процессы, а 9,5% сообщили об увеличении времени, затрачиваемого на выполнение профессиональных задач. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для большинства пользователей цифровые технологии стали фактором оптимизации медицинской деятельности, хотя отдельные категории специалистов продолжают испытывать трудности при работе с информационными системами.

Особый интерес представляют результаты оценки отношения медицинских работников к технологиям искусственного интеллекта. Абсолютное большинство респондентов (91,2%) рассматривают искусственный интеллект как помощника в профессиональной деятельности. Лишь 6,1% считают его исключительно технологической новинкой без существенной практической ценности, а 2,7% воспринимают внедрение искусственного интеллекта как потенциальную угрозу. Полученные данные свидетельствуют о высокой степени готовности медицинского сообщества к интеграции интеллектуальных цифровых сервисов в клиническую практику.

При анализе представлений о факторах успешного внедрения медицинских информационных систем установлено, что большинство специалистов (63,4%) связывают эффективность цифровой трансформации прежде всего с активным участием каждого пользователя. Почти каждый пятый респондент (18,0%) считает ключевую роль разработчиков программного обеспечения определяющей для успешного внедрения информационных систем. Значительно реже ответственность возлагалась на органы управления здравоохранением (9,5%) и руководство медицинских организаций (5,4%). Таким образом, большинство медицинских работников рассматривают цифровую трансформацию как совместный процесс, успех которого во многом определяется вовлеченностью непосредственных пользователей информационных систем.

Готовность принимать участие в совершенствовании медицинских информационных систем выразили 48,8% участников исследования. При этом 39,0% затруднились оценить возможность своего участия, а 12,2% не проявили заинтересованности в подобной деятельности. Данные результаты свидетельствуют о наличии значительного кадрового потенциала для применения принципов пользователь-ориентированной разработки цифровых медицинских сервисов при условии формирования соответствующих организационных механизмов взаимодействия между разработчиками и медицинскими организациями.

Корреляционный анализ выявил статистически значимую слабую отрицательную связь между стажем профессиональной деятельности и уровнем цифровых компетенций ($\rho = -0{,}115$; $p = 0{,}050$). Построенная линейная регрессионная модель показала, что увеличение стажа на один год сопровождается снижением уровня цифровых компетенций в среднем на

0,02 балла. Однако коэффициент детерминации модели составил лишь 1,2%, что указывает на незначительный вклад стажа в формирование уровня цифровых компетенций и свидетельствует о наличии иных факторов, оказывающих более существенное влияние.

Аналогичные результаты получены при анализе взаимосвязи возраста и цифровых компетенций. Между возрастом и уровнем цифровых компетенций установлена статистически значимая слабая отрицательная корреляция ($\rho = -0{,}119$; $p = 0{,}042$). Согласно модели линейной регрессии, увеличение возраста на один год сопровождается снижением уровня цифровых компетенций на 0,023 балла, при этом модель объясняет лишь 1,5% общей вариабельности исследуемого показателя. Следовательно, несмотря на статистическую значимость выявленной зависимости, возраст не является определяющим фактором формирования цифровых компетенций медицинских работников.

При сравнительном анализе стажа и возраста в зависимости от отношения к развитию цифровых компетенций, роли искусственного интеллекта и факторов успешного внедрения медицинских информационных систем статистически значимых различий выявлено не было ($p > 0{,}05$). Это позволяет предположить, что позитивное отношение к цифровизации и искусственному интеллекту характерно для специалистов различных возрастных групп и независимо от продолжительности профессиональной деятельности.

Единственным статистически значимым различием стало распределение возраста в зависимости от готовности участвовать в доработке медицинской информационной системы ($p = 0{,}025$). Специалисты, выразившие готовность принимать участие в совершенствовании информационных систем, были статистически значимо моложе специалистов, отказавшихся от такого участия (медиана возраста 41 и 50 лет соответственно; $p = 0{,}022$ при апостериорном сравнении). Полученные результаты позволяют предположить, что более молодые медицинские работники обладают большей мотивацией к участию в цифровой трансформации здравоохранения и развитию пользователь-ориентированных медицинских информационных систем.

Выводы

Проведенное исследование показало, что большинство медицинских работников обладают высоким уровнем цифровых компетенций и положительно оценивают внедрение медицинских информационных систем, рассматривая их как инструмент повышения эффективности профессиональной деятельности. Высокая заинтересованность респондентов в развитии цифровых навыков свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования системы непрерывного профессионального образования. Выявленные слабые отрицательные корреляционные связи между уровнем цифровых компетенций, возрастом и стажем работы указывают на то, что решающее значение для цифровой зрелости имеют не демографические характеристики, а организационные условия, доступность обучения и уровень цифровой культуры медицинской организации. Более молодые специалисты чаще готовы участвовать в совершенствовании медицинских информационных систем, однако эффективная цифровая трансформация требует вовлечения медицинских работников всех возрастных групп. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ развития цифровых компетенций и совершенствовании государственных медицинских информационных систем.

Список литературы

1. World Health Organization. Global strategy on digital health 2020–2025. Geneva: WHO, 2021. – URL: https://www.who.int/docs/default-source/documents/gs4dhdaa2a9f352b0445bafbc79ca799dce4d.pdf. (date of access: 29.06.2026). – Electronic text.

2. World Health Organization. Classification of digital health interventions v1.0. Geneva: WHO, 2018. – URL: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-RHR-18.06 (date of access: 29.06.2026). – Electronic text.

3. OECD. Health at a Glance 2023: OECD Indicators. Paris: OECD Publishing, 2023. – URL: https://www.oecd.org/en/publications/health-at-a-glance-2023_7a7afb35-en.html (date of access: 29.06.2026). – Electronic text.

4. HIMSS. Digital Health Indicator Model. Chicago: HIMSS, 2023. – URL: https://blackbookmarketresearch.com/blog/himss-2023-conference (date of access: 29.06.2026). – Electronic text.

5. World Medical Association. Statement on Augmented Intelligence in Medical Care. Ferney-Voltaire, 2023. – URL: https://www.wma.net/policies-post/wma-statement-on-artificial-and-augmented-intelligence-in-medical-care/ (date of access: 29.06.2026). – Electronic text.

6. World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health. Geneva: WHO, 2021. – URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200 (date of access: 29.06.2026). – Electronic text.

7. Стародубов, В. И. Цифровая трансформация здравоохранения Российской Федерации / В. И. Стародубов, Н. Г. Куракова, И. В. Иванов // Менеджер здравоохранения. – 2022. – № 8. – С. 5–15.

8. Гусев, А. В. Цифровые компетенции медицинских работников: современное состояние и направления развития / А. В. Гусев, Т. В. Зарубина // Врач и информационные технологии. – 2023. – № 2. – С. 6–18.

9. Topol E. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. New York: Basic Books, 2019. – URL: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3758241 (date of access: 29.06.2026). – Electronic text.

10. Bates D.W., Singh H. Two decades since To Err is Human: an assessment of progress and emerging priorities in patient safety // Health Affairs. 2021. Vol. 40(11). P. 1736–1743.

УДК 004.62:614.47:351.84

ЭЛЕКТРОННЫЙ СЕРТИФИКАТ ПРИВИВОК НА ГОСУСЛУГАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИММУНОПРОФИЛАКТИКИ

Шайдуллина А.Р., студент кафедры «Учет, анализ и аудит» ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова», г. Казань, Россия;
E-mail: ShaidullinaA.R@yandex.ru

ELECTRONIC VACCINATION CERTIFICATE ON THE PUBLIC SERVICES PORTAL OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN AS A TOOL FOR ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF IMMUNOPROPHYLAXIS

Shaidullina A.R., student of the Accounting, Analysis and Audit Department of Kazan V.G. Timiryasov Kazan Innovation University, Kazan, Russia;
E-mail: ShaidullinaA.R@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена обоснованию необходимости внедрения электронного сертификата профилактических прививок на портале государственных услуг для жителей Республики Татарстан. Актуальность темы определяется сохраняющимися рисками распространения вакциноуправляемых инфекций на фоне пропуска ревакцинации, фрагментарного учета прививок и преобладания бумажных носителей. В работе проанализированы открытые данные Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан, региональные и федеральные публикации,

а также отечественный опыт цифрового сопровождения вакцинации. Целью исследования является показать, что цифровой сертификат прививок должен рассматриваться не как сервисное дополнение, а как инфраструктурный инструмент снижения эпидемиологических рисков и повышения своевременности вакцинации. Методологическую основу составили сравнительный анализ открытых источников, сопоставление динамики заболеваемости и практик учета прививок, а также проектный подход к формированию модели внедрения. Установлено, что в Татарстане рост заболеваемости корью и коклюшем был тесно связан с непривитостью или выпадением отдельных групп из календаря иммунизации, тогда как адресная дополнительная вакцинация позволяла добиться выраженного снижения числа случаев. Показано, что бумажный формат хранения прививочных данных создает риски потери сведений, нарушает преемственность наблюдения и не обеспечивает систему напоминаний для родителей и взрослых пациентов. Предложена поэтапная модель быстрого перевода бумажного прививочного учета в электронный формат на базе региональных медицинских систем и федерального портала Госуслуг.

Ключевые слова: электронный сертификат прививок, Госуслуги, Республика Татарстан, вакцинация, ревакцинация, цифровое здравоохранение, имммунопрофилактика, корь, коклюш, медицинские информационные системы

Abstract

The article substantiates the need to introduce an electronic vaccination certificate on the public services portal for residents of the Republic of Tatarstan. The relevance of the topic is associated with the continuing risks of vaccine-preventable infections amid missed revaccination, fragmented vaccination records, and the predominance of paper-based documents. The purpose of the study is to demonstrate that a digital vaccination certificate should be considered not as an auxiliary service, but as an element of public health infrastructure. The research methodology is based on the analysis of open sources, comparison of regional morbidity trends, and evaluation of paper-based and digital vaccination accounting models. The article shows that in Tatarstan the increase in measles and pertussis incidence was closely related to the lack of vaccination or the exclusion of certain groups from the immunization schedule, while targeted additional immunization made it possible to reduce the number of cases significantly [1–4]. It is established that the paper format of vaccination records creates risks of data loss, disrupts continuity of medical supervision, and does not provide automatic reminder mechanisms for parents and adult patients. A phased model for rapid transformation of paper vaccination certificates into a digital format based on regional medical information systems and the federal public services portal is proposed. The practical significance of the study lies in the fact that the proposed approach can serve as a basis for regional managerial decisions aimed at reducing missed revaccination and improving the effectiveness of immunization policy.

Keywords: electronic vaccination certificate, public services portal, Republic of Tatarstan, vaccination, revaccination, digital healthcare, immunization, measles, pertussis, medical information systems

Введение

Цифровизация здравоохранения сегодня оценивается не только по количеству электронных сервисов, но и по тому, насколько она помогает системе здравоохранения действовать на опережение. Особенно это важно в сфере иммунопрофилактики, где результат зависит не только от наличия вакцин, но и от способности своевременно учитывать каждую прививку, отслеживать сроки ревакцинации и предупреждать выпадение пациента из календаря. Если эта цепочка нарушается, даже благополучный регион может столкнуться с возвращением инфекций, которые считаются управляемыми.

Для Республики Татарстан проблема имеет практическое значение. В регионе сохраняется высокий организационный уровень медицинской помощи, однако данные последних

лет показывают, что вакциноуправляемые инфекции не исчезли как риск. В 2024 г. в Татарстане было зарегистрировано более 700 тыс. инфекционных и паразитарных заболеваний, а по отдельным нозологиям зафиксирован заметный рост [2]. Наиболее показательной остается ситуация с корью и коклюшем, где связь между непривитостью, несвоевременной ревакцинацией и ростом заболеваемости прослеживается особенно отчетливо [2, 3].

При этом базовый носитель информации о прививках по-прежнему во многом остается бумажным. Для семьи это означает риск потери документа, для врача неполную картину прививочного статуса, для региона невозможность быстро и точно управлять профилактикой в масштабах всей популяции. Бумажный сертификат не умеет напоминать о сроках, не синхронизируется автоматически между поликлиниками и не обеспечивает надежной преемственности при смене места жительства, школы или медицинской организации. В этих условиях вопрос о внедрении электронного сертификата прививок на Госуслугах Республики Татарстан приобретает стратегическое значение.

Целью статьи является на основе проверяемых данных показать, почему Татарстану необходим электронный сертификат профилактических прививок, и предложить реалистичную схему его внедрения с учетом существования бумажных носителей. Научная новизна работы заключается в рассмотрении электронного сертификата не как вспомогательной цифровой услуги, а как инструмента управления эпидемиологическими рисками и повышения эффективности иммунопрофилактики.

Материалы и методы

Исследование выполнено на основе анализа открытых и проверяемых источников. В качестве эмпирической базы использованы публикации Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан и материалы региональных СМИ, содержащие официальные данные и прямые цитаты профильных должностных лиц, а также сообщения федеральных СМИ и органов власти о развитии электронных медицинских сервисов и сертификатов вакцинации.

Методически работа опирается на три подхода. Использован сравнительный анализ динамики заболеваемости по отдельным инфекциям в Татарстане в 2023–2026 годах. Выполнено сопоставление последствий бумажного и цифрового учета прививок для пациента, семьи и медицинской организации. Применен проектный подход: предложенная схема внедрения электронного сертификата сформулирована как последовательность организационных и технических действий, реализуемых на региональном уровне.

В настоящем исследовании использованы сведения из открытых источников, доступные для проверки. Отсутствие официально опубликованных данных по отдельным показателям Республики Татарстан учитывается при формулировании выводов как ограничение.

Эпидемиологические основания для внедрения электронного сертификата прививок

Корь остается одной из самых заразных инфекций, поэтому именно она быстро выявляет любые провалы в коллективном иммунитете. В Татарстане в 2023 г. было зарегистрировано 87 случаев кори, а в 2024 г. уже 217, что определяет рост почти в 2,5 раза [2]. По данным, озвученным на итоговой коллегии Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан, в 2024 г. эпидемический подъем кори сохранялся в течение года, а доля местных случаев выросла с 14 до 30% [2]. Это означает, что инфекция распространялась не только за счет завоза, но и внутри самой региональной среды.

Структура заболевших имеет для данной темы ключевое значение. По словам руководителя Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан Марины Патяшиной, в 2023 г. 95 процентов заболевших корью в республике не были привиты [7]. В 2025 г., когда заболеваемость пошла на спад, все зарегистрированные в начале года случаи также пришлись на непривитых [8, 9]. Этот факт особенно важен в контексте цифровизации: речь идет не о слабости вакцин, а о том, что система в определенных случаях не доводит человека до нужной прививки или не фиксирует это должным образом.

В такой ситуации электронный сертификат становится не просто удобной формой хранения данных, а управленческим инструментом. Он позволяет сделать видимыми разрывы в иммунизации, выявить тех, кто пропустил дозу или ревакцинацию, и встроить человека в контур автоматических напоминаний и врачебного сопровождения.

Особое значение для Татарстана имеет ситуация с коклюшем. В первом полугодии 2024 г. в республике было зарегистрировано 1044 случая коклюша, что в 11 раз больше, чем за аналогичный период 2023 г. Более половины этих случаев приходилось на Казань [4]. При этом Марина Патяшина прямо указывала, что в 2023 году коклюшем болел практически каждый второй ребенок в возрасте от 7 до 14 лет, а одна из причин состояла в отсутствии ревакцинации в этом возрасте в федеральном календаре [7].

Республика отреагировала введением дополнительной ревакцинации на региональном уровне. Результат оказался показательным: по итогам 2024 г. заболеваемость коклюшем снизилась на 30,5%, с 1782 до 1239 случаев [8]. По итогам 2025 г., согласно сообщениям по материалам коллегии, снижение стало еще более выраженным, а именно в 14 раз [3]. Это один из самых сильных аргументов в пользу цифрового сопровождения вакцинации: когда регион может точно определить уязвимую группу и своевременно довести ее до ревакцинации, эпидемиологический эффект становится измеримым.

Следующий логичный шаг после такого опыта – выстроить систему, в которой дети и подростки не будут выпадать из прививочного календаря между возрастными этапами. Бумажный сертификат этого не обеспечивает. Электронный календарь с напоминаниями способен решить именно эту задачу.

По России в целом в 2025 г. фиксировался рост заболеваемости менингококковой инфекцией: за первые пять месяцев рост зарегистрированных случаев составил более 1200 случаев заражения по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. В Татарстане, по словам главного эпидемиолога Минздрава Республики Татарстан Дмитрия Лопушова, на тот момент регистрировались единичные случаи, в основном среди детей раннего возраста. Одновременно врачи республики отмечали, что угроза сохраняется и что инфекция перестала восприниматься как строго сезонная [5].

Для темы статьи это означает следующее: даже если сегодня Татарстан не демонстрирует резкого скачка по менингококковой инфекции, региону выгоднее выстраивать цифровой прививочный учет заранее, а не в режиме реагирования на вспышку. Тем более что в открытых источниках бесплатная вакцинация от менингококка в республике описана как доступная не для всех групп населения, а прежде всего для призывников [5].

Данных о полноценной открытой статистике по снижению охвата вакцинацией от менингококка именно в Татарстане в доступных публичных источниках не обнаружено, и это необходимо фиксировать честно.

С дифтерией ситуация иная. Последний случай дифтерии в Татарстане был зарегистрирован в 2009 г., после чего заболевание в республике не фиксировалось. Это прямой результат устойчивого охвата профилактическими прививками. Но именно здесь возникает другой риск: многолетнее отсутствие случаев формирует у взрослых ложное ощущение, что ревакцинация больше не нужна. Между тем ревакцинация против дифтерии и столбняка должна повторяться каждые 10 лет [1]. В условиях бумажного учета эта обязанность легко выпадает из повседневного контроля, тогда как электронный сертификат способен возвращать ее в поле внимания автоматически.

Почему бумажный формат учета больше не отвечает задачам региона

Бумажная карта прививок создавалась для другой социальной и медицинской реальности, менее мобильной, менее цифровой и более локальной. Сегодня семья может менять район внутри Казани, переезжать между муниципалитетами, наблюдаться одновременно в государственной и частной медицине, а ребенок может получать отдельные прививки в разных

организациях. В этой среде бумажный сертификат неизбежно становится источником ошибок и потерь.

Главная проблема бумаги не только в том, что документ можно потерять. Еще важнее то, что такой формат не обеспечивает непрерывность наблюдения. Если часть прививок внесена в бумажную карту, часть в локальную систему конкретной поликлиники, а часть сделана в частном центре, то ни родители, ни новый врач не видят целостной картины. Возникают сомнения в полноте данных, откладываются решения о ревакцинации, появляются лишние административные барьеры.

Особенно остро эта проблема ощущается у родителей. Национальный календарь профилактических прививок включает множество точек вакцинации и ревакцинации на разных этапах детства и далее во взрослом возрасте. Удерживать весь этот график только за счет памяти затруднительно. Бумажный сертификат не напоминает, не предупреждает о приближении срока и не помогает быстро понять, что именно уже сделано, а что пропущено. В результате многие пропуски возникают не из-за принципиального отказа, а из-за организационного разрыва.

Типичная ситуация выглядит следующим образом: семья переезжает, ребенок меняет поликлинику, бумажная карта оказывается утерянной или неполной, часть данных из частного центра не отражена, а родители не уверены, нужна ли следующая прививка сейчас или позже. В этом месте система перестает быть проактивной и начинает работать реактивно. Электронный сертификат нужен именно для того, чтобы разорвать этот сценарий.

Электронный сертификат: текущий статус и применимые практики

На федеральном уровне полноценный электронный сертификат профилактических прививок для всего национального календаря пока находится на стадии запуска. Вместе с тем в публичном поле уже подтверждены планы запуска онлайн-сертификатов о профилактических прививках в пилотных регионах в 2026 г. [6]. На Госуслугах фактически реализован прежде всего сертификат, связанный с вакцинацией против COVID-19. Это делает вопрос для Татарстана не теоретическим, а практическим.

Наиболее развитым отечественным примером является московский сервис «Мои прививки» в составе электронной медицинской карты. Он позволяет взрослым и родителям детей до 18 лет видеть сведения о выполненных прививках, ориентироваться в интерактивном календаре, а также при необходимости загружать документы из иных медицинских организаций [10]. Для Татарстана особенно ценен не сам факт цифрового хранения сведений, а функциональность сопровождения: единая точка доступа к данным, напоминания, возможность подтверждать прививки из разных источников и отсутствие зависимости от одного бумажного документа. Именно такая архитектура способна дать региону реальный эпидемиологический эффект.

Предлагаемая модель внедрения в Республике Татарстан

Внедрение электронного сертификата прививок в Татарстане должно опираться на несколько базовых принципов: достоверность данных, преемственность, пациенториентированность, межсистемную совместимость и проактивность. В систему должны попадать только подтвержденные записи, бумажные документы должны переводиться в цифровой контур без потери юридической и медицинской значимости, а сам сервис должен быть понятен не только врачу, но и родителю.

Наиболее реалистичной представляется многоуровневая схема. Первый уровень: автоматическая выгрузка уже имеющихся цифровых сведений из региональных медицинских систем в единый модуль прививочного учета. Второй уровень: самостоятельная загрузка пациентом или родителем скана бумажного сертификата через личный кабинет с последующей верификацией медицинским работником. Аналогичный подход уже применен в московской электронной медкарте [10]. Третий уровень: оцифровка бумажных записей в поликлинике

при плановом визите пациента. Четвертый уровень: отдельный режим для спорных и неполных записей, требующих уточнения, чтобы система не теряла сведения и не провоцировала ошибочные решения.

С практической точки зрения внедрение можно разделить на шесть этапов:

– аудит данных: необходимо определить, какая часть прививочной информации уже содержится в электронных системах, а какая сохраняется только на бумаге;

– пилотирование: начинать целесообразно с Казани и Набережных Челнов, где высока мобильность населения и выше риск разрыва прививочного маршрута;

– приоритетная оцифровка детей и подростков: именно для них календарь наиболее плотный, а после пропуска ревакцинации наиболее чувствительны;

– подключение напоминаний: после накопления базы данных должны быть запущены push-уведомления, SMS и электронные письма о приближении сроков вакцинации и ревакцинации;

– интеграция с профилактическими маршрутами: электронный сертификат должен использоваться как подтверждение прививочного статуса без необходимости повторного сбора бумажных справок;

– оценка результата: эффективность следует измерять не только количеством электронных сертификатов, но и снижением числа пропущенных ревакцинаций, доли непривитых в очагах и административной нагрузки на поликлиники.

Научная и практическая значимость

Предлагаемая модель значима для Татарстана по нескольким причинам. Во-первых, она опирается на уже проявившийся региональный опыт: республика показала, что адресная ревакцинация способна заметно изменить траекторию заболеваемости [3]. Во-вторых, она снижает риски, возникающие на стыке семьи, поликлиники и межведомственного взаимодействия. В-третьих, она соответствует федеральному тренду на развитие электронных медицинских сервисов и делает Татарстан готовым к масштабированию сервиса на базе Госуслуг.

Для родителей это означает понятный и прозрачный маршрут. Для врача более полную информацию и меньше времени на восстановление анамнеза. Для республики инструмент профилактики вспышек и повышения управляемости прививочного процесса. В условиях, когда даже временное выпадение отдельных групп из календаря способно привести к росту кори или коклюша, такие эффекты уже нельзя считать второстепенными.

Выводы

Статья основана на открытых источниках, и это накладывает ограничения. В открытом доступе не выявлены полные официальные сводные данные по Татарстану за 2024-2026 годы по смертности детей от кори, коклюша или краснухи, а также детализированные показатели снижения охвата вакцинацией от менингококковой инфекции именно по республике. Поэтому такие сведения в тексте не приводятся. Отсутствие публичных данных по отдельным параметрам не отменяет основного вывода, поскольку уже имеющиеся подтвержденные материалы показывают устойчивую связь между непривитостью, пропуском ревакцинации и ростом заболеваемости, а также подтверждают эффект адресной иммунизации.

Республика Татарстан находится в точке, когда повышение эффективности иммунопрофилактики уже невозможно обеспечивать только профессионализмом врачей и локальной административной дисциплиной. Сложность прививочного календаря, мобильность населения, сочетание государственных и частных медицинских маршрутов и эпидемиологические уроки последних лет требуют нового уровня учета и сопровождения.

Данные по кори и коклюшу в Татарстане показывают одно и то же: там, где есть непривитые или выпавшие из графика ревакцинации группы, формируется рост заболеваемости; там, где система находит эти группы и доводит их до прививки, ситуация меняется в лучшую сторону в течение одного-двух лет. Следовательно, вопрос стоит не только о наличии вакцин,

но и о способности системы видеть каждого пациента во времени. Бумажный сертификат эту задачу решает все хуже. Электронный сертификат способен решать ее системно.

Для родителей цифровой сертификат означает меньше неопределенности и больше контроля над здоровьем ребенка. Для взрослого населения своевременные напоминания о ревакцинации, которая сегодня часто оказывается вне поля внимания. Для государства возможность перейти от реактивных противоэпидемических мер к проактивному управлению рисками. Именно поэтому внедрение электронного сертификата прививок на Госуслугах Республики Татарстан следует рассматривать не как опцию цифрового комфорта, а как элемент современной инфраструктуры общественного здоровья.

Список литературы

1. Приказ Минздрава России от 06.12.2021 № 1122н (ред. от 12.12.2023) «Об утверждении национального календаря профилактических прививок, календаря профилактических прививок по эпидемическим показаниям и порядка проведения профилактических прививок»: зарегистрирован в Минюсте России 20.12.2021 № 66435.

2. «С цыганами понятно, а с 18-й школой нет»: почему в Татарстане растет заболеваемость корью // Общественно-политическая газета «Республика Татарстан»: [сайт]. 18.01.2025. URL: https://rt-online.ru/s-czyganami-ponyatno-a-s-18-j-shkoloj-net-pochemu-v-tatarstane-rastet-zabolevaemost-koryu/ (дата обращения: 05.08.2026).

3. В 2025 году татарстанцы чаще болели ветрянкой и реже – корью // Татар-информ: [сайт]. 19.01.2026. URL: https://www.tatar-inform.ru/news/v-2025-godu-tatarstancy-cashhe-bolelivetryankoi-i-reze-koryu-6013772 (дата обращения: 05.08.2026).

4. В Татарстане растет заболеаемость коклюшем, корью и энтеровирусной инфекцией // Реальное время: [сайт]. 24.07.2024. URL: https://realnoevremya.ru/articles/313488-v-tatarstane-nachalsya-rost-zabolevaemosti-enterovirusnymi-infekciyami (дата обращения: 08.08.2026).

5. Сегодня здоровый, завтра хоронят»: врачи Татарстана – об опасности менингококка // Общественно-политическая газета «Республика Татарстан»: [сайт]. 24.07.2025. URL: https://rt-online.ru/news/segodnya-zdorovyj-zavtra-horonyat-vrachi-tatarstana-ob-opasnosti-meningokokka-527566 (дата обращения: 12.08.2026).

6. Занко: в 2026 году россияне смогут получать онлайн-сертификаты о вакцинации // Дума ТВ: [сайт]. 04.08.2025. URL: https://dumatv.ru/news/zanko--v-2026-godu-rossiyane-smogut-poluchat-onlain-sertifikati-o-vaktsinatsii (дата обращения: 18.08.2026).

7. Марина Патяшина: «В 2023 году в Татарстане были инфекции, которые вызвали резонанс» // Реальное время: [сайт]. 18.01.2024. URL: https://realnoevremya.ru/news/300705-v-2023-godu-v-tatarstane-byli-infekcii-kotorye-vyzvali-rezonans (дата обращения: 08.08.2026).

8. В Татарстане показатель заболеваемости коклюшем снизился на 30,5% // Бизнес Online: [сайт]. 13.01.2025. URL: https://www.business-gazeta.ru/news/710025 (дата обращения: 07.08.2026).

9. Онлайн-сертификаты о вакцинации появятся на «Госуслугах» в 2026 году // Милосердие.ru: [сайт]. 05.08.2025. URL: https://www.miloserdie.ru/news/onlain-sertifikaty-o-vakczinaczii-poyavyatsya-na-gosuslugah-v-2026-godu/ (дата обращения: 08.08.2026).

10. Электронная медицинская карта // Официальный портал Мэра и Правительства Москвы: [сайт]. URL: https://www.mos.ru/city/projects/medcarta/ (дата обращения: 18.08.2026).

УДК 316.014

ЦИФРОВЫЕ САМОСОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ПРАКТИКИ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: АНАЛИЗ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Шакирова А.Ф., к.с.н., главный научный сотрудник ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-4187-6562

DIGITAL SELF-PRESERVATION PRACTICES OF THE POPULATION AMID THE PROLIFERATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES: AN ANALYSIS OF MOBILE HEALTH APPLICATIONS

Shakirova A.F., Candidate of Sociological Sciences, Chief Researcher at the Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-4187-6562

Аннотация

В статье рассматриваются мобильные приложения как одна из форм цифровых самосохранительных практик населения в условиях активного развития технологий искусственного интеллекта и цифровой трансформации здравоохранения. Актуальность исследования обусловлена быстрым распространением интеллектуальных цифровых сервисов, которые постепенно становятся важным инструментом поддержания здоровья, профилактики заболеваний и формирования здорового образа жизни. Цель исследования заключается в выявлении основных тенденций развития мобильных приложений для здоровья, использующих технологии искусственного интеллекта, а также в оценке особенностей их распространения, пользовательского спроса и коммерческой эффективности.

Методологическую основу исследования составил вторичный анализ данных, включающий показатели количества мобильных приложений, загрузок и доходов от встроенных покупок в магазинах приложений App Store и Google Play. Проведено сопоставление динамики развития отдельных категорий приложений, что позволило определить наиболее быстрорастущие направления использования технологий искусственного интеллекта в сфере цифрового здоровья, выявить изменения пользовательских предпочтений и оценить особенности развития рынка в период с 2022 по первое полугодие 2026 г. Особое внимание уделено анализу взаимосвязи между распространением технологий искусственного интеллекта, востребованностью мобильных сервисов и их коммерческим потенциалом.

Установлено, что наиболее интенсивное внедрение технологий искусственного интеллекта наблюдается в категории приложений «Здоровье и благополучие», прежде всего в сегментах питания и контроля рациона, физической активности и фитнеса, управления стрессом и психическим здоровьем, медицинского мониторинга, а также персонализированного сопровождения пользователей. Выявлено, что рост количества специализированных приложений сопровождается активным внедрением функций искусственного интеллекта в уже существующие цифровые сервисы, расширяя их функциональные возможности и повышая качество персонализированной поддержки пользователей. Показано, что распространение технологий искусственного интеллекта сопровождается устойчивым ростом пользовательского спроса и коммерческой эффективности цифровых сервисов здоровья. Сделан вывод о том, что мобильные приложения постепенно трансформируются из инструментов регистрации и мониторинга показателей здоровья в интеллектуальные системы персонализированной поддержки принятия решений, выступая одной из наиболее значимых форм цифровых самосохрани-

тельных практик населения. Полученные результаты могут быть использованы при изучении процессов цифровизации здравоохранения, трансформации самосохранительного поведения населения, а также при разработке, совершенствовании и оценке эффективности цифровых сервисов, ориентированных на сохранение и укрепление здоровья населения.

Ключевые слова: цифровое здравоохранение; цифровые самосохранительные практики; мобильные приложения; искусственный интеллект; цифровое здоровье

Abstract

This article examines mobile applications as one of the forms of digital self-preservation practices of the population amid the rapid development of artificial intelligence technologies and the digital transformation of healthcare. The relevance of the study is driven by the rapid proliferation of intelligent digital services, which are gradually becoming an important tool for maintaining health, preventing diseases, and promoting a healthy lifestyle. The aim of the study is to identify key trends in the development of mobile health applications using artificial intelligence technologies, as well as to assess the specific features of their distribution, user demand, and commercial effectiveness.

The methodological basis of the study was a secondary data analysis, including indicators of the number of mobile apps, downloads, and revenues from in-app purchases in the App Store and Google Play application stores. A comparison of the development dynamics of individual application categories was conducted, which made it possible to identify the fastest-growing areas of AI technology application in digital health, to reveal changes in user preferences, and to assess the specific features of market development from 2022 to the first half of 2026. Particular attention is paid to analyzing the relationship between the proliferation of artificial intelligence technologies, the demand for mobile services, and their commercial potential. It was established-that the most intensive implementation of artificial intelligence technologies is observed in the "Health and Wellness" application category, primarily in the areas of nutrition and dietary management, physical activity and fitness, stress and mental health management, medical monitoring, and personalized user support. It was revealed that the growth in the number of specialized applications is accompanied by the active integration of artificial intelligence functionalities into existing digital services, expanding their capabilities and improving the quality of personalized user support. It is shown that the proliferation of artificial intelligence technologies is accompanied by a steady increase in user demand and the commercial effectiveness of digital health services. It is concluded that mobile applications are gradually transforming from tools for recording and monitoring health indicators into intelligent systems for personalized decision support, serving as one of the most significant forms of digital self-preservation practices for the population. The obtained results can be used in studying the processes of healthcare digitalization , the transformation of self-preservation behavior of the population, as well as in the development, improvement, and evaluation of the effectiveness of digital services aimed at maintaining and improving public health.

Keywords: digital healthcare; digital self-preservation practices; mobile applications; artificial intelligence; digital health

Введение

Цифровая трансформация общества оказывает существенное влияние на сферу здравоохранения, формируя новые механизмы взаимодействия населения с медицинскими знаниями, цифровыми сервисами и технологиями поддержки здоровья. В этих условиях все большее значение приобретают цифровые инструменты, обеспечивающие доступ к информации, персонализированным рекомендациям и сервисам сопровождения, что способствует изменению практик сохранения и укрепления здоровья населения [1]. Согласно стратегическому видению Всемирной организации здравоохранения, цифровое здравоохранение рассматривается как важнейшее направление развития современных систем здравоохранения, способствующее расширению доступа населения к качественной медицинской помощи, повышению

эффективности оказания медицинских услуг и укреплению устойчивости здравоохранения [2]. Вместе с тем реализация потенциала цифрового здравоохранения определяется не только развитием цифровой инфраструктуры и медицинских технологий, но и тем, каким образом цифровые сервисы интегрируются в повседневное поведение населения. Именно на уровне индивидуальных действий происходит трансформация возможностей цифрового здравоохранения в практики сохранения и укрепления здоровья, реализуемые посредством поиска информации, самоконтроля, профилактики заболеваний и взаимодействия с медицинскими сервисами [3]. В рамках настоящего исследования цифровые самосохранительные практики населения определяются как совокупность действий, связанных с использованием цифровых технологий, онлайн-сервисов и социальных медиа для поиска, оценки, интерпретации и применения информации, направленной на сохранение здоровья, предупреждение заболеваний и получение медицинской помощи. Их специфика заключается в том, что цифровая среда выступает не только техническим каналом получения информации, но и самостоятельным пространством формирования установок, ожиданий и поведенческих стратегий. В данном контексте мобильные приложения следует рассматривать как одну из форм цифровых самосохранительных практик. В отличие от поиска информации в сети или коммуникации в социальных медиа, они ориентированы на регулярное сопровождение пользователя, объединяя функции информирования, мониторинга состояния здоровья, формирования персонализированных рекомендаций и поддержки принятия решений. Благодаря этому цифровые самосохранительные практики приобретают непрерывный характер и становятся частью повседневного поведения, направленного на сохранение и укрепление здоровья [4].

В отечественных исследованиях подчеркивается, что цифровые технологии все в большей степени интегрируются в повседневные практики заботы о здоровье, обеспечивая пользователям доступ к медицинской информации, сервисам самоконтроля и дистанционного взаимодействия со специалистами [5,6]. Аналогичные выводы представлены и в зарубежных исследованиях, где мобильные приложения (mHealth) характеризуются как инструменты, способствующие изменению поведения, повышению приверженности здоровому образу жизни и развитию практик самоменеджмента здоровья за счет постоянной обратной связи и персонализации рекомендаций [7].

Методологическую основу исследования составил вторичный анализ данных аналитического отчета State of AI 2026: Competition, Commerce, and the New Digital Economy, подготовленного компанией Sensor Tower. В ходе исследования были проанализированы показатели количества мобильных приложений, загрузок и доходов от встроенных покупок в категориях App Store и Google Play за период с 2022 по первое полугодие 2026 г. [8].

Основная часть

Анализ доклада Sensor Tower показывает, что выпуск ChatGPT в конце 2022 г. стал катализатором стремительного роста числа мобильных приложений, интегрирующих технологии искусственного интеллекта или использующих в своих описаниях термины, связанные с искусственным интеллектом [8]. Если, с одной стороны, отмечался рост числа специализированных приложений, основанных на технологиях искусственного интеллекта, то, с другой стороны, наблюдалась тенденция к интеграции инструментов искусственного интеллекта в уже существующие мобильные приложения, что было направлено на повышение качества предоставляемых сервисов, расширение функциональных возможностей и персонализацию взаимодействия с пользователями. В результате уже в первом полугодии 2023 г. общее количество подобных приложений увеличилось на 153% по сравнению с первым полугодием 2022 года, а к первому полугодию 2026 г. – +361,4% (табл. 1).

Полученные данные свидетельствуют о том, что использование технологий искусственного интеллекта за сравнительно короткий период стало одной из ключевых тенденций развития мирового рынка мобильных приложений, охватив практически все основные категории цифровых сервисов.

Значительный рост количества приложений к I полугодью 2026 г. отмечался в категориях «Генерация ИИ», «Программное обеспечение для бизнеса и повышения производительности», «Другое» и «Здоровье и благополучие» (+1134,7%; +552,2% и 662,2% соответственно). Приложения в категории и «Здоровье и благополучие» так же имеют значительный прирост и составляют 490,6%. Это свидетельствует о быстром распространении технологий искусственного интеллекта практически во всех ключевых сегментах рынка мобильных приложений.

Таблица 1

Динамика количества приложений, в которых были добавлены термины, связанные с искусственным интеллектом, по категориям (iOS и Google Play)

Категории	I полугодие			Темп прироста к I полугодию 2022 г., %	
	2022 г.	2023 г.	2026 г.	I пол. 2023 г.	I пол. 2026 г.[1]
Всего	1571	3974	7248	153	361,4
Игры	372	504	814	35,5	118,8
Программное обеспечение для мультимедиа и дизайна	256	467	867	82,4	238,7
Работа и образование	147	247	605	68	311,6
Здоровье и благополучие	127	225	750	77,2	490,6
Услуги	110	310	655	181,8	495,5
Образ жизни и услуги	96	181	599	88,5	524
Финансовые услуги	86	141	431	64	401,2
Генеративный ИИ	49	1178	605	2304,1	1134,7
Медиа и развлечения	48	97	276	102,1	475
Покупки	47	63	114	34	142,6
Программное обеспечение для бизнеса и повышения производительности	46	103	300	123,9	552,2
Знакомства и поиск в социальных сетях	31	97	176	212,9	467,7
Путешествия и туризм	31	55	151	77,4	387,1
Социальные сети	27	102	158	277,8	485,2
Другое	98	204	747	108,2	662,2

Источник: составлено автором на основе данных State of AI 2026.

Вторичный анализ данных также показал, что в категории приложений «Здоровье и благополучие» внедрение технологий искусственного интеллекта происходило неравномерно по отдельным сегментам (табл. 2).

Наиболее высокие темпы роста продемонстрировали к I полугодью 2023 г. приложения для управления стрессом и психическим здоровьем (+416,7%), другие приложения для здоровья и фитнеса (+200,0%), а также сервисы питания и контроля рациона (+200,0%). Существенный прирост отмечался также в сегментах телемедицины (+73,7%), фитнеса и тренажерных залов (+47,8%) и сервисов красоты (+55,6%), тогда как в приложениях для медитации и отслеживания сна (+133,3%), медицинского мониторинга (+25,0%) распространение техно-

[1] I полугодие 2026 г. отражает предварительные оценки, рассчитанные на конец июня 2026 г.

логий искусственного интеллекта происходило более умеренными темпами. Однако к I полугодию 2026 г. структура категории существенно изменилась. Лидерами по количеству приложений, использующих искусственный интеллект, стали сервисы питания и контроля рациона (рост по сравнению с первым полугодием 2022 г. – +2550,0%) и приложения для красоты и спа (+977,8%). Значительный рост также наблюдался в категориях фитнеса и тренажерных залов (+482,6%), медицинского мониторинга (+383,3%), командных видов спорта и активного отдыха (+335,7%) и медитации и отслеживания сна (+633,3%). В отличие от большинства сегментов, телемедицина развивалась более сдержанно (+89,5%), что может свидетельствовать о более осторожной интеграции технологий искусственного интеллекта в медицинские сервисы.

Таблица 2

Динамика количества приложений, в которых были добавлены термины, связанные с искусственным интеллектом, по категории «Здоровье и благополучие» (iOS и Google Play)

Подкатегории	I полугодие			Темп прироста к I полугодию 2022 г., %	
	2022 г.	2023 г.	2026 г.	I пол. 2023 г.	I пол. 2026 г.[1]
Всего	127	225	751	77,2	491,3
Тренажерные залы и фитнес	23	34	134	47,8	482,6
Телемедицина	19	33	36	73,7	89,5
Командные виды спорта и отдых на природе	14	15	61	7,1	335,7
Приложения для отслеживания медицинских показателей	12	15	58	25	383,3
Другие услуги для личного здоровья и фитнеса	9	27	95	200	955,6
Услуги красоты и спа-салоны	9	14	97	55,6	977,8
Приложения для управления стрессом и психического здоровья	6	31	56	416,7	833,3
Питание и диета	4	12	106	200	2550
Приложения для медитации и отслеживания сна	3	7	22	133,3	633,3
Другое	28	37	86	32,1	207,1

Источник: составлено автором на основе данных State of AI 2026.

Анализ динамики загрузок показывает, что распространение приложений, использующих технологии искусственного интеллекта, сопровождалось еще более быстрым ростом пользовательского спроса. Совокупное число загрузок приложений категории «Здоровье и благополучие» увеличилось с 101,6 млн в первом полугодии 2022 г. до 77,0 млн в первом полугодии 2023 г. (–24,2%), что свидетельствует о кратковременном снижении интереса пользователей сразу после появления первых решений на базе искусственного интеллекта. Однако уже с 2024 г. наблюдается устойчивый рост, и к первому полугодию 2026 года количество загрузок достигло 314,9 млн, что в 3,1 раза превышает уровень первого полугодия 2022 г. (+209,9%) (табл. 3).

[1] I полугодие 2026 г. отражает предварительные оценки, рассчитанные на конец июня 2026 г.

Таблица 3

Динамика количества скачиваний приложений, в которых были добавлены термины, связанные с искусственным интеллектом, по категории «Здоровье и благополучие» (iOS и Google Play), млн

Категории	I полугодие			Темп прироста к I полугодию 2022 г., %	
	2022 г.	2023 г.	2026 г.	I пол. 2023 г.	I пол. 2026 г.[1]
Всего	101,6	77,0	314,9	-24,2	209,9
Приложения для медитации и отслеживания сна	18,4	5,6	10,2	-69,5	-44,6
Тренажерные залы и фитнес	18,0	10,9	77,8	-39,4	332,2
Отслеживание менструального цикла	17,0	8,9	6,9	-47,9	-59,6
Питание и диета	16,4	18,4	88,8	12,2	441,5
Другие услуги в области личного здоровья и фитнеса	10,7	10,7	33,4	0	212,1
Телемедицина	4,2	3,8	17,4	-9	314,3
Командные виды спорта и отдых на природе	4,0	3,8	6,1	-5,2	50,4
Услуги красоты и спа-салоны	3,7	6,4	28,6	72	664,7
Приложения для отслеживания медицинских показателей	1,9	2,3	26,8	22,1	1310,5
Другое	7,2	6,1	19,0	-15,2	162,4

Источник: составлено автором на основе данных State of AI 2026.

Анализ доходов от встроенных покупок (In-App Purchases, IAP) показывает, что внедрение технологий искусственного интеллекта сопровождалось не только ростом числа приложений и их загрузок, но и существенным увеличением их коммерческой эффективности. Совокупная выручка приложений категории «Здоровье и благополучие» возросла с 123,9 млн долл. США в первом полугодии 2022 г. до 146,5 млн долл. США в первом полугодии 2023 г. (+18,2 %), а к первому полугодию 2026 г. достигла 760,8 млн долл. США, что более чем в 6 раз превышает исходный уровень (+513,8 %). Полученные результаты свидетельствуют о том, что интеграция технологий искусственного интеллекта способствует не только расширению пользовательской базы, но и повышению готовности пользователей оплачивать цифровые сервисы, ориентированные на персонализированное сопровождение здоровья и формирование индивидуальных рекомендаций (табл. 4).

Необходимо отметит, особенно активно технологии искусственного интеллекта внедряются в приложения, ориентированные на поддержание здоровья и здорового образа жизни. В категории «Питание и контроль рациона», которая входит в число наиболее быстрорастущих направлений, искусственный интеллект используется для автоматизации и персонализации взаимодействия с пользователем.

[1] I полугодие 2026 г. отражает предварительные оценки, рассчитанные на конец июня 2026 г.

Таблица 4

Динамика доходов от встроенных покупок в приложениях, в которых были добавлены термины, связанные с искусственным интеллектом, по категории «Здоровье и благополучие» (iOS и Google Play), млн., долларах США

Категории	I полугодие			Темп прироста к I полугодию 2022 г., %	
	2022 г.	2023 г.	2026 г.	I пол. 2023 г.	I пол. 2026 г.[1]
Всего	123,9	146,5	760,8	18,2	513,8
Питание и диета	61,8	68,5	307,0	10,8	396,8
Тренажерные залы и фитнес	17,6	18,6	246,0	5,7	1297,7
Медитация и трекеры сна	16,6	17,2	36,7	3,6	121,1
Командные виды спорта и активный отдых	14,0	20,8	54,4	48,6	288,6
Приложения для борьбы со стрессом и поддержки психического здоровья	5,4	6,6	14,9	22,9	176,8
Отслеживание менструального цикла	4,1	3,9	7,5	-6,8	82,3
Прочее: личное здоровье и фитнес	2,9	3,6	35,7	23,5	1118,4
Приложения для медицинского мониторинга	0,0	2,7	38,9	–	–
Косметические услуги и спа-салоны	0,0	2,2	18,2	–	–
Другое	1,5	2,5	1,5	68,7	-2,0

Источник: составлено автором на основе данных State of AI 2026.

Анализ наиболее популярных приложений показывает, что современные цифровые сервисы реализуют функции интеллектуального сопровождения, включая персонализированные рекомендации по питанию и физической активности, анализ пищевого дневника, автоматическое распознавание продуктов питания по фотографиям, голосовой ввод данных о приеме пищи, подсчет калорийности, а также поддержку контроля массы тела и режима питания. Так, приложение MyFitnessPal использует искусственный интеллект в качестве персонального консультанта по вопросам питания и физической активности, Lose It! применяет алгоритмы компьютерного зрения для распознавания продуктов и автоматического подсчета калорий, а Yazio формирует персонализированные рекомендации по рациону питания и режиму интервального голодания. Таким образом, современные приложения для здоровья постепенно переходят от выполнения функций регистрации и мониторинга показателей к интеллектуальному сопровождению пользователей, обеспечивая персонализированную поддержку принятия решений, связанных с сохранением и укреплением здоровья.

Полученные результаты согласуются с современными исследованиями в области цифрового здоровья, согласно которым приложения, связанные с питанием, физической активностью и персонализированным сопровождением здорового образа жизни, являются одним

[1] I полугодие 2026 г. отражает предварительные оценки, рассчитанные на конец июня 2026 г.

из ключевых направлений внедрения технологий искусственного интеллекта. Это обусловлено тем, что алгоритмы искусственного интеллекта позволяют автоматизировать распознавание продуктов питания, анализировать пищевое поведение, интегрировать данные носимых устройств и формировать персонализированные рекомендации, обеспечивая непрерывную цифровую поддержку пользователей [9, 10].

Полученные данные также согласуются с выводами систематического обзора Wang и соавторов показавшего, что применение искусственного интеллекта способствует переходу от стандартных цифровых инструментов сопровождения питания к персонализированным системам поддержки принятия решений, адаптирующим рекомендации с учетом индивидуальных особенностей пользователя [11]. Данная тенденция отражается и в прогнозах развития рынка цифрового здоровья. По прогнозам Grand View Research, мировой рынок приложений для питания и контроля рациона продолжит демонстрировать устойчивый рост, чему способствуют развитие цифровых технологий, расширение использования искусственного интеллекта в сфере персонализированного питания и возрастающий спрос на индивидуализированные сервисы поддержки здоровья [12].

Выводы

Проведенное исследование показало, что распространение технологий искусственного интеллекта является одним из ключевых факторов трансформации цифровых самосохранительных практик населения. Начиная с 2023 г. рынок мобильных приложений, использующих технологии искусственного интеллекта, демонстрирует ускоренные темпы развития, причем наиболее заметные изменения происходят в категории «Здоровье и благополучие». Полученные результаты позволяют заключить, что технологии искусственного интеллекта постепенно становятся одним из ключевых компонентов цифровых сервисов, предназначенных для поддержания здоровья, профилактики заболеваний и формирования здорового образа жизни. Установлено, что внедрение технологий искусственного интеллекта в мобильные приложения для здоровья носит дифференцированный характер. Наиболее высокие темпы роста демонстрируют приложения, связанные с питанием и контролем рациона, управлением стрессом и психическим здоровьем, фитнесом, медицинским мониторингом и персонализированным сопровождением пользователей. Одновременно выявлен устойчивый рост числа загрузок и доходов от встроенных покупок, что свидетельствует не только об активном распространении подобных сервисов, но и о высокой готовности пользователей использовать и оплачивать цифровые инструменты, обеспечивающие персонализированную поддержку здоровья.

Можно сказать, что современные мобильные приложения перестают выполнять исключительно информационные и учетные функции. Благодаря использованию алгоритмов искусственного интеллекта они трансформируются в интеллектуальные системы сопровождения, обеспечивающие анализ персональных данных, формирование индивидуальных рекомендаций и поддержку принятия решений в сфере сохранения здоровья. Таким образом, мобильные приложения могут рассматриваться как форма цифровых самосохранительных практик населения, интегрирующая процессы информирования, самоконтроля, профилактики и управления здоровьем в повседневную жизнь пользователей. Дальнейшее развитие подобных технологий будет способствовать расширению возможностей персонализированной профилактики, однако одновременно актуализирует необходимость обеспечения достоверности рекомендаций, защиты персональных данных и научной оценки эффективности цифровых сервисов здоровья.

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда проект №25-78-00104 «Цифровые практики россиян в сфере самосохранения».

Funding: The study was supported by the Russian Science Foundation project № 25- 78- 00104 from the Russian Science Foundation, “Digital Practices of Russians in the Sphere of Self-Preservation”.

Список литературы

1. Шакирова, А. Ф. Проблема самосохранительного поведения в эпоху цифровых коммуникаций / А. Ф. Шакирова, М. А. Насрединова // Электронный экономический вестник Татарстана. – 2025. – № 4. – С. 51–57. – EDN LOPDDH.

2. World Health Organization. *Mobile Health for Diabetes Prevention and Management (mDiabetes): Be He@lthy Be Mobile Handbooks* [Electronic resource]. – Geneva : World Health Organization, 2016. – 92 p. – ISBN 978-92-4-154990-5. – URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789241549905 (accessed: 01.07.2026).

3. Шкарин, В. В. Отношение населения к мобильным приложениям для отслеживания данных о своем здоровье / В. В. Шкарин, В. Л. Аджиенко, Т. С. Дьяченко, В. Е. Веровский // Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2025. – Т. 22, № 1. – С. 89–93. – DOI: 10.19163/2658-4514-2025-22-1-89-93.

4. Шакирова, А. Ф. Цифровизация самосохранительного поведения: мобильные приложения как новая форма практик заботы о здоровье / А. Ф. Шакирова, А. А. Панасова // Электронный экономический вестник Татарстана. – 2026. – № 2. – С. 83–92.

5. Богомягкова, Е. С. Цифровые технологии в практиках заботы о здоровье жителей Санкт-Петербурга / Е. С. Богомягкова, Е. А. Орех, М. Е. Глухова // Социологические исследования. – 2022. – № 10. – С. 145–155. – DOI: 10.31857/S013216250018705-6.

6. Осипова, Н. Г. Цифровизация социальной реальности: ключевые дискуссии / Н. Г. Осипова // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 7–27. – DOI: 10.24290/1029-3736-2022-28-3-9-42.

7. Chen, J. Social Media Use for Health Purposes: Systematic Review / J. Chen, Y. Wang // Journal of Medical Internet Research. – 2021. – Vol. 23, No. 5. – Article e17917. – DOI: 10.2196/17917.

8. Sensor Tower. State of AI 2026: Competition, Commerce, and the New Digital Economy [Electronic resource]. – San Francisco : Sensor Tower, 2026. – URL: https://sensortower.com/report/state-of-ai-2026 (accessed: 01.07.2026).

9. Agrawal, K. Artificial Intelligence in Personalized Nutrition and Food Manufacturing: A Comprehensive Review of Methods, Applications, and Future Directions / K. Agrawal, P. Goktas, N. Kumar, M.-F. Leung // Frontiers in Nutrition. – 2025. – Vol. 12. – Article 1636980. – DOI: 10.3389/fnut.2025.1636980.

10. Panayotova, G. G. Artificial Intelligence in Nutrition and Dietetics / G. G. Panayotova, M. Vassileva, K. Kamburova [et al.] // Healthcare. – 2025. – Vol. 13, No. 20. – Article 2579. – DOI: 10.3390/healthcare13202579.

11. Wang, X. Artificial Intelligence Applications to Personalized Dietary Recommendations: A Systematic Review / X. Wang, Z. Sun, H. Xue, R. An // Healthcare. – 2025. – Vol. 13, № 12. – Article 1417. – DOI: 10.3390/healthcare13121417.

12. Grand View Research. Diet and Nutrition Apps Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2030 [Electronic resource]. – San Francisco : Grand View Research, 2025. – URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/diet-nutrition-app-market (accessed: 01.07.2026).

УДК 004.93:616.8

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОХОДКИ ЧЕЛОВЕКА ПО ВИДЕОДАННЫМ НА ОСНОВЕ СКЕЛЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ РАКУРСА СЪЕМКИ

Шлямин Д.А., студент;
ORCID: 0009-0001-9716-2211;
E-mail: domdom.xox@gmail.com;
Мокшин В.В., к.т.н., доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR RECOGNIZING GAIT PATHOLOGIES FROM VIDEO DATA USING SKELETON MODELS AND ACCOUNTING FOR VIEWPOINT VARIATIONS

Shlyamin D.A., student;
ORCID: 0009-0001-9716-2211;
E-mail: domdom.xox@gmail.com;
Mokshin V.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automated Information Processing and Control Systems, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

В статье представлена информационная система для распознавания заболеваний походки человека (норма, хромота, паркинсонический тип) по видеоданным, полученным с произвольных ракурсов. Система использует нейросетевую модель YOLO-pose для детектирования 17 ключевых точек скелета, алгоритмы геометрической нормализации на основе аффинных преобразований для компенсации проективных искажений и полносвязный нейросетевой классификатор. Эксперименты на расширенном наборе данных LJMU Gait Dataset показали высокую точность классификации (F1-score 88,8%) и устойчивость к ракурсам 0°, 45°, 90° и 180°. Система не требует дорогостоящего оборудования и может применяться в клинической диагностике и реабилитации.

Ключевые слова: анализ походки, распознавание заболеваний, болезнь Паркинсона, YOLO-pose, компьютерное зрение, нормализация ракурса, нейросетевой классификатор

Abstract

This article presents an information system for recognizing gait pathologies (normal, limping, and Parkinsonian types) using video data captured from arbitrary viewing angles. The system employs the YOLO pose neural network model to detect 17 skeletal keypoints, geometric normalization algorithms based on affine transformations to compensate for projective distortions, and a fully connected neural network classifier. Experiments conducted on an extended version of the LJMU Gait Dataset demonstrated high classification accuracy (F1 score of 88.8%) and robustness across viewing angles of 0°, 45°, 90°, and 180°. The system does not require expensive equipment and is suitable for applications in clinical diagnostics and rehabilitation.

Keywords: gait analysis, pathology recognition, Parkinson's disease, YOLO pose, computer vision, viewpoint normalization, neural network classifier

Введение

Современная медицина всё чаще обращается к количественным методам оценки двигательных нарушений. Паттерны ходьбы несут важную диагностическую информацию при болезни Паркинсона, рассеянном склерозе, последствиях инсульта и травмах опорно-двигательного аппарата. Традиционные методы (визуальная оценка врача) субъективны, а системы трёхмерного захвата движения (motion capture) требуют дорогостоящего оборудования и сложной калибровки [1, 2]. Большинство существующих видеосистем компьютерного зрения демонстрируют значительное снижение точности при изменении ракурса съёмки из-за проективных искажений координат ключевых точек.

Цель настоящей работы – разработка системы распознавания заболеваний походки человека по видеоданным на основе скелетных моделей, устойчивой к изменению ракурса камеры и не требующей специализированного оборудования.

Для достижения цели решены следующие задачи: выбор и дообучение модели детектирования ключевых точек YOLO-pose; разработка метода геометрической нормализации для компенсации ракурсных искажений; реализация алгоритмов вычисления биомеханических параметров; создание нейросетевого классификатора типов походки; разработка веб-интерфейса и интеграция всех модулей в единый конвейер.

Архитектура системы

Разработанная система построена по модульному принципу и включает клиентскую часть (веб-интерфейс), серверное приложение на фреймворке FastAPI, модуль детектирования YOLO-pose, модуль геометрической нормализации, модуль вычисления биомеханических параметров, нейросетевой классификатор и реляционную базу данных SQLite. Общая схема взаимодействия компонентов представлена на рис. 1.

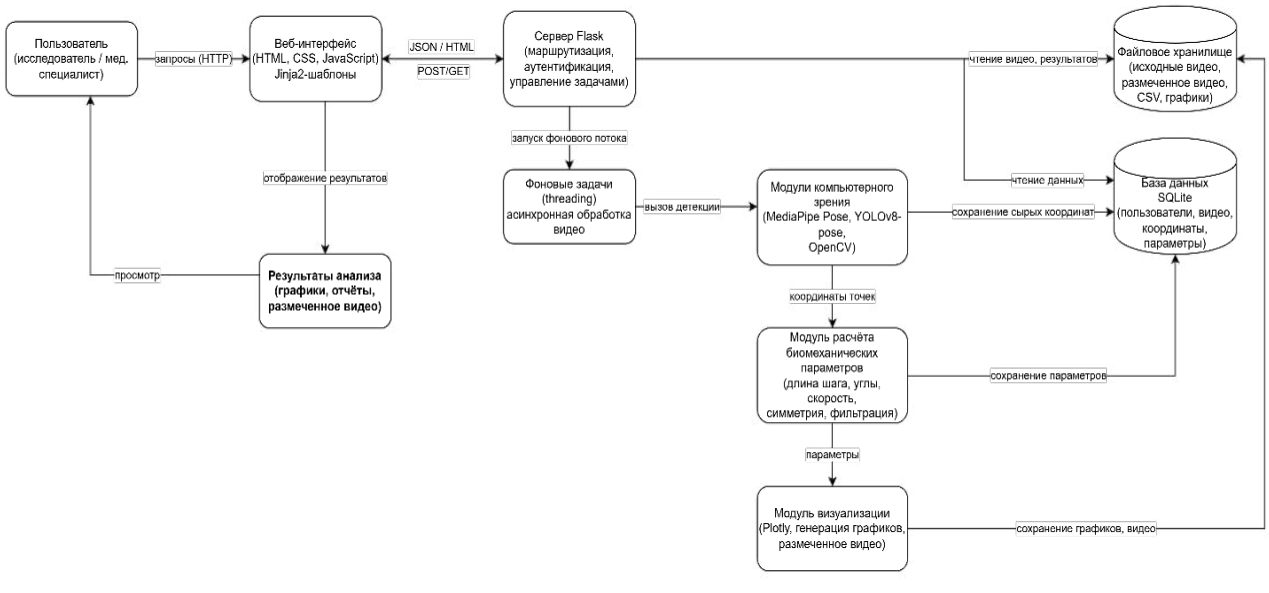


Рис. 1. Схема взаимодействия компонентов информационной системы

1.1. Модуль детектирования ключевых точек

В качестве основного детектора выбрана модель YOLOv8-pose (архитектура YOLO-pose), которая обеспечивает баланс между скоростью (25 кадров/с) и точностью (PCK@0.2 = 0,94). Модель дообучена на наборе данных, содержащем 3500 видеозаписей из LJMU Gait Dataset [3] и дополнительно собранных 220 записей пациентов с хромотой и болезнью Паркинсона. Всего 3720 видеозаписей с ракурсами 0°, 45°, 90°, 180°, фронтальным и тыловым. Выходом модуля являются 17 ключевых точек в пиксельных координатах (рис. 2).

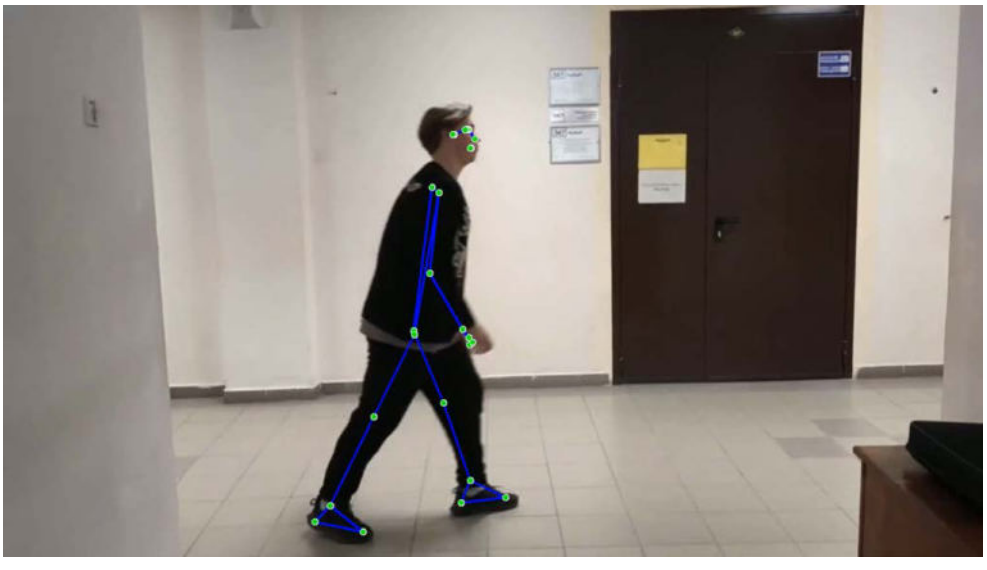


Рис. 2. Пример размеченного кадра с наложенной скелетной моделью

1.2. Геометрическая нормализация

Для компенсации проективных искажений выполняется аффинное преобразование координат. Матрица преобразования A размерностью 2×3 вычисляется для каждого кадра на основе реперных точек скелета (линия плеч и таза) с целью приведения скелета к канонической фронтальной проекции:

$$K'_t = A \cdot [K_t; 1]^T,$$

где K_t – матрица исходных координат, K'_t – нормализованные координаты. Затем координаты дополнительно нормализуются относительно ограничивающей рамки человека, что обеспечивает инвариантность к разрешению видео и положению объекта в кадре. Для подавления шумов применяется экспоненциальное сглаживание (EWMA) с параметром $\alpha = 0{,}3$.

1.3. Вычисление биомеханических параметров

На основе нормализованных траекторий ключевых точек вычисляются 12 признаков, инвариантных к ракурсу съёмки:

– средняя длина шага и её стандартное отклонение;
– средние углы сгибания левого и правого колена;
– индекс симметрии коленей;
– средний угол наклона туловища и его стандартное отклонение;
– средняя скорость движения лодыжек и её стандартное отклонение;
– частота шагов (cadence);
– симметрия времени опоры.

Расчёт длины шага выполняется как евклидово расстояние между левой и правой лодыжками в фазу опоры. Угол в коленном суставе вычисляется через скалярное произведение векторов «бедро–колено» и «колено–лодыжка». Все параметры сохраняются в базе данных в виде временных рядов для последующего статистического анализа.

2. Нейросетевой классификатор типов походки

Классификатор построен на архитектуре полносвязной нейронной сети (MLP). Входной слой – 12 нейронов (по числу признаков). Далее три скрытых полносвязных слоя с 128, 64 и 32 нейронами, после каждого – пакетная нормализация, функция активации ReLU и dropout 0,3 для регуляризации. Выходной слой – 3 нейрона, функция активации Softmax, выдающая вероятности принадлежности к классам: нормальная походка, хромота, паркинсонический тип.

Обучение проводилось на выборке из 3720 записей (80% обучающая, 20% валидационная) с использованием функции потерь CrossEntropyLoss и оптимизатора Adam (скорость обучения 0,001, размер батча 32). Для компенсации дисбаланса классов (нормальная походка – 94%, патологии – по 3%) применялись веса классов в функции потерь.

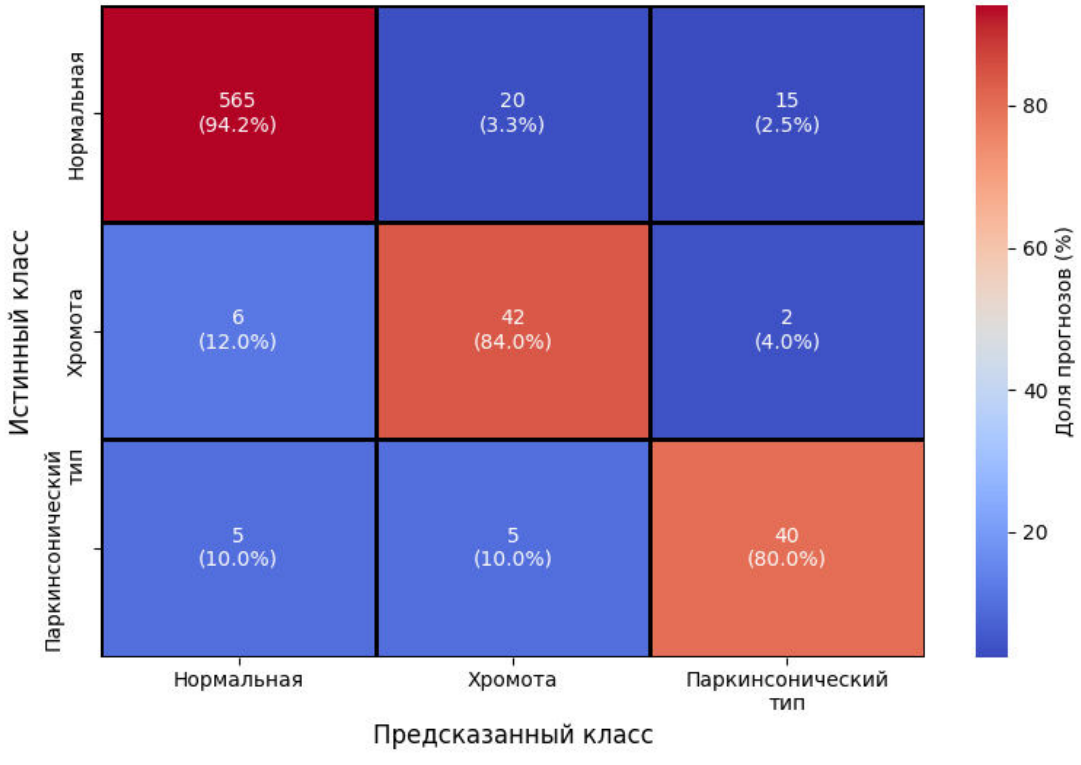


Рис. 3. Матрица ошибок классификации

Результаты классификации на тестовой выборке:
– Accuracy (общая точность) – 92,4%;
– Precision – 89,7%;
– Recall – 87,9%;
– F1-score – 88,8%.

3.Контрольный пример и валидация

Для проверки устойчивости к ракурсу система была протестирована на видеозаписях, снятых под углами 0°, 45°, 90° и 180° (рис. 4).



Рис. 4. Визуализация работы системы: исходные и обработанные кадры

Точность детектирования ключевых точек оценивалась метрикой PCK@0.2 (Percentage of Correct Keypoints). Среднее значение по всем точкам составило 0,89, что подтверждает надёжность извлечения скелетных моделей при различных ракурсах.

Контрольный пример нормализации координат левой лодыжки (рис. 5) демонстрирует, что исходные пиксельные координаты, зависящие от масштаба, преобразуются в относительные значения в диапазоне [0,1], что позволяет сравнивать движения независимо от разрешения видео.

Кадр	Исходные координаты (пиксели)	Нормализованные координаты (отн. bounding box)
1	(845, 620)	(0.52, 0.48)
2	(860, 615)	(0.53, 0.47)
3	(880, 610)	(0.55, 0.46)
4	(895, 608)	(0.57, 0.45)
5	(910, 605)	(0.59, 0.44)

Рис. 5. Таблица нормализации координат

4. Веб-интерфейс и практическое применение

Разработана клиент-серверная часть с веб-интерфейсом, реализованным на HTML/CSS/JavaScript с серверной генерацией шаблонов Jinja2. Пользователь может зарегистрироваться, загрузить видео в форматах MP4/AVI, выбрать модель детектирования (MediaPipe Pose или YOLO-pose) и запустить анализ. В процессе обработки отображается прогресс, текущий кадр со скелетной моделью и динамически обновляемые графики биомеханических параметров (рис. 6).

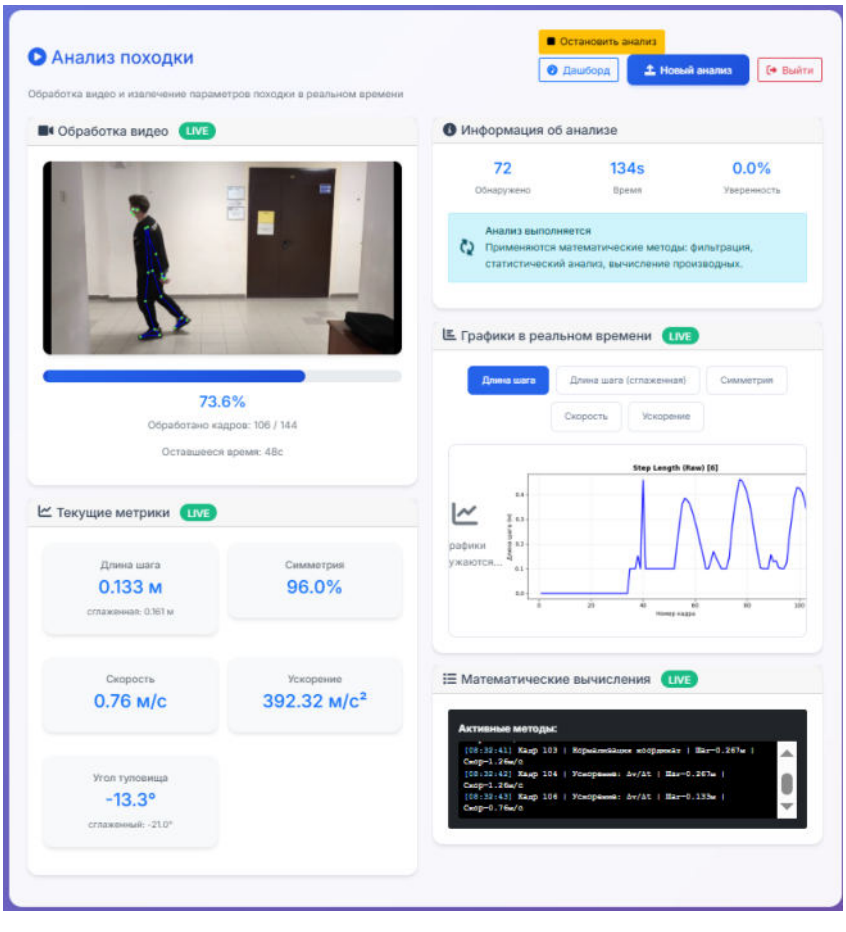


Рис. 6. Страница анализа в реальном времени

По завершении анализа формируется страница результатов (рис. 7), содержащая тип походки (норма, хромота, паркинсонический тип), степень уверенности классификации, размеченное видео и интерактивные графики. Доступен экспорт нормализованных координат в формате CSV, а также генерация отчёта в форматах HTML и PDF.

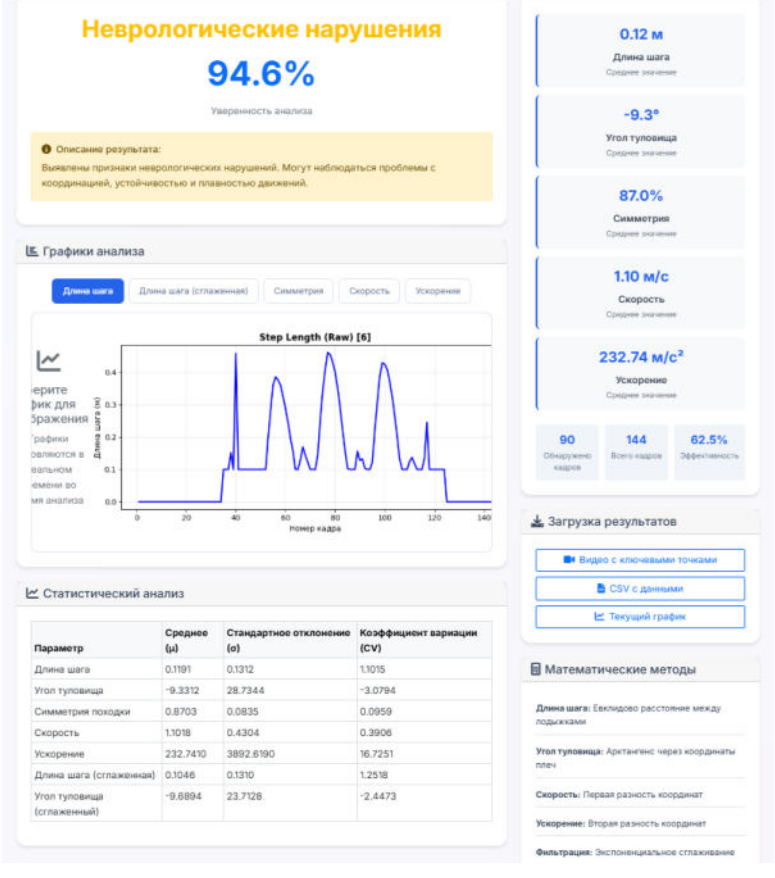


Рис. 7. Страница результатов

Система также предоставляет возможность сравнения нескольких анализов одного пациента (рис. 8) для отслеживания динамики реабилитации. Врач может выбрать две или более видеозаписи, выполненные в разное время, и визуально сопоставить траектории ключевых точек.

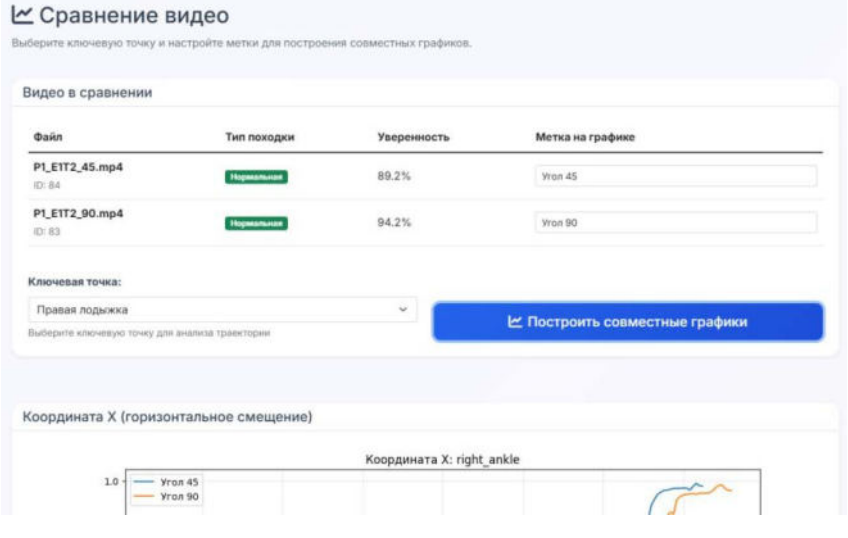


Рис. 8. Страница сравнения анализов

Заключение

В статье представлена информационная система распознавания заболеваний походки человека по видеоданным на основе скелетных моделей с учётом изменения ракурса съёмки. Система включает модули детектирования ключевых точек (YOLO-pose), геометрической нормализации, вычисления биомеханических параметров и нейросетевой классификатор типов походки. Экспериментально подтверждена устойчивость к ракурсам 0°, 45°, 90° и 180°, а также высокая точность классификации (F1-score 88,8%). Система может использоваться в клинической практике, реабилитационных центрах и исследовательских лабораториях для объективной количественной оценки двигательных нарушений.

Список литературы

1. Muro-De-La-Herran A., Garcia-Zapirain B., Mendez-Zorrilla A. Gait analysis methods: An overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications // Sensors. – 2014. – Vol. 14, № 2. – P. 3362–3394.

2. Whittle M. W. Gait Analysis: An Introduction. – 5th ed. – Butterworth-Heinemann, 2014. – 256 p.

3. Topham L.K., Khan W., Al-Jumeily D., Waraich A., Hussain A.J. A diverse and multi-modal gait dataset of indoor and outdoor walks acquired using multiple cameras and sensors // Scientific Data. – 2023. – Vol. 10, № 1. – P. 320.

4. Jocher G., Chaurasia A., Qiu J. Ultralytics YOLOv8 [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: https://github.com/ultralytics/ultralytics.

УДК 004.8:004.93

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР U-NET, U-NET++, DEEPLABV3+ И YOLO11N-SEG ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Ялилов И.И., магистрант ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0009-0009-7932-9362;
E-mail: ilnar6612@gmail.com;
Смирнова В.В., директор ООО «ЛеонРод»;
ORCID: 0000-0002-1107-2152;
E-mail: yaikovavictoriya@mail.ru;
Саченков О.А., к.ф-м.н., доцент, заведующий кафедрой компьютерной математики и информатики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-8554-2938;
E-mail: 4works@bk.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF U-NET, U-NET++, DEEPLABV3+, AND YOLO11N-SEG ARCHITECTURES FOR HUMAN SEGMENTATION IN IMAGES

Jalilov I.I. master`s student, Kazan (Volga Region) Federal University;
ORCID: 0009-0009-7932-9362;
E-mail: ilnar6612@gmail.com;
Smirnova V.V., Director of LLC «Leon Rod»;
ORCID: 0000-0002-1107-2152;
E-mail: yaikovavictoriya@mail.ru;

Sachenkov O.A., Candidate of Science in Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of the Department of Computer Mathematics and Informatics ща N.I. Lobachevsky Institute of Mathematics and Mechanics of Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-8554-2938;
E-mail: 4works@bk.ru

Аннотация

В работе проведён сравнительный анализ четырёх архитектур глубоких нейронных сетей – U-Net, U-Net++, DeepLabV3+ и YOLO11n-seg – для бинарной сегментации человека на изображениях. Все модели обучены на наборе данных из 182 изображений размером 832×832 пикселя с использованием единого энкодера ResNet-50 в одинаковых вычислительных условиях. Оценка качества выполнялась по метрике Intersection over Unio (IoU), а производительности – по времени инференса, частоте кадров в секунду, числу параметров и объёму видеопамяти. U-Net показала наивысшую точность (IoU = 0.989), формируя наиболее гладкие маски, однако уступает YOLO11n-seg по скорости (2.0 FPS против 10.8 FPS). YOLO11n-seg характеризуется минимальным числом параметров (8.9 млн) и наименьшим потреблением памяти (5.89 МБ), что делает её предпочтительной для систем реального времени. DeepLabV3+ и U-Net++ занимают промежуточное положение, причём усложнение архитектуры U-Net++ не дало существенного выигрыша в точности. Сделан вывод, что выбор модели определяется приоритетом задачи: максимальная точность – U-Net, высокая скорость – YOLO11n-seg.

Ключевые слова: сегментация изображений, U-Net, U-Net++, DeepLabV3+, YOLO11n-seg, медицинские изображения, сравнительный анализ, Intersection over Union, инференс, глубокая нейронная сеть

Abstract

This paper presents a comparative analysis of four deep neural network architectures – U-Net, U-Net++, DeepLabV3+, and YOLO11n-seg – for binary human segmentation in images. All models were trained on a dataset of 182 images of size 832×832 pixels using a unified ResNet-50 encoder under identical computational conditions. Quality was assessed via Intersection over Union (IoU), and performance by inference time, frames per second, parameter count, and GPU memory usage. U-Net achieved the highest accuracy (IoU = 0.989), producing the smoothest masks, but lagged behind YOLO11n-seg in speed (2.0 FPS vs. 10.8 FPS). YOLO11n-seg has the fewest parameters (8.9 million) and lowest memory footprint (5.89 MB), making it preferable for real-time systems. DeepLabV3+ and U-Net++ hold intermediate positions, with U-Net++ showing no significant accuracy gain from its architectural complexity. We conclude that the model choice depends on the task priority: U-Net for maximum precision, YOLO11n-seg for high throughput.

Keywords: image segmentation, U-Net, U-Net++, DeepLabV3+, YOLO11n-seg, medical imaging, comparative analysis, Intersection over Union, inference, deep neural network

1. Введение

Сегментация медицинских изображений является одной из ключевых задач в области компьютерного зрения, играющей критическую роль в современной диагностике, планировании хирургических вмешательств и мониторинге лечения. Точное выделение анатомических структур, патологических очагов и органов на изображениях, полученных с помощью ультразвуковой диагностики, магнитно-резонансной томографии (МРТ), компьютерной томографии (КТ) и других методов визуализации, позволяет врачам принимать обоснованные клинические решения, повышая качество медицинской помощи и снижая риски ошибок, связанных с субъективной интерпретацией данных [1].

За последнее десятилетие глубокое обучение произвело революцию в области анализа медицинских изображений. Среди множества архитектур нейронных сетей особое место занимает U-Net, предложенная Ольгом Роннебергером с соавт. в 2015 г. [2]. Данная архитектура, основанная на симметричной структуре энкодер-декодер с пропускающими соединениями, стала золотым стандартом для задач медицинской сегментации.

Параллельно с развитием сегментационных архитектур активно эволюционировали модели для обнаружения объектов. Семейство YOLO совершило прорыв в области детекции в реальном времени благодаря однопроходной архитектуре. Последняя на момент написания работы версия – YOLO11, вышла за рамки обнаружения и включает специализированные возможности для инстанс-сегментации (YOLO11-seg), что позволяет модели одновременно решать задачи детекции и пиксельной сегментации объектов [3].

В последние годы наблюдается активное внедрение YOLO-архитектур в медицинскую практику. Адаптивные мультимасштабные attention-сети на основе YOLO, такие как AMAY-Net, демонстрируют эффективность при сегментации печени и желчного пузыря в лапароскопической хирургии [4]. В стоматологии обучение YOLOv8m-seg на 1410 снимках позволило достичь значения mask mAP50-95 = 0.828 при различении кариеса и цервикального выгорания [5].

Несмотря на впечатляющие успехи обеих архитектур, вопрос о сравнительной эффективности U-Net и YOLO в контексте медицинской сегментации остается открытым и требует систематического исследования. Существующие работы дают противоречивые результаты. С одной стороны, исследования по сегментации хронических ран показывают, что YOLOv8n достигает IoU = 71.7%, превосходя U-Net как по точности, так и по скорости обработки [6]. Аналогичные результаты были получены при сегментации сосудов на ультразвуковых изображениях. В исследовании по автоматическому распознаванию внутренней яремной вены и лучевой артерии модель YOLOv8 показала более высокую точность сегментации и меньшую задержку обработки по сравнению с U-Net (IoU = 0.739 против 0.719; время инференса 26.3 мс против 38.9 мс), что подтверждает перспективность использования YOLO для задач медицинской сегментации в режиме реального времени [7]. С другой стороны, при сегментации зубов и челюстной кости на КЛКТ U-Net показал наилучшие результаты с IoU = 0.8671, тогда как YOLO V3 уступил [8]. В задаче сегментации оливковых деревьев Mask R-CNN показал лучшую точность (mIoU = 0.72), тогда как YOLO11m-seg обеспечил максимальную скорость (0.12 с на изображение) [9]. Качественный анализ результатов сегментации показывает, что различные архитектуры по-разному формируют границы объектов. U-Net благодаря симметричной энкодер-декодерной структуре обеспечивает детализированное восстановление пространственной информации, тогда как модели семейства YOLO ориентированы на достижение высокой скорости обработки изображений и могут демонстрировать иные особенности формирования контуров сегментируемых областей.

Таким образом, выбор между U-Net и YOLO для конкретной медицинской задачи не является тривиальным и зависит от множества факторов: требуемой точности сегментации, допустимого времени обработки, доступных вычислительных ресурсов и специфики самих медицинских изображений.

Цель данной работы -провести комплексное сравнительное исследование архитектур U-Net, U-Net++, DeepLabV3+ и YOLO11n-seg на Student Semantic Segmentation Dataset (S3D), оценив их по ключевым критериям: точность сегментации IoU, скорость инференса, вычислительная сложность и устойчивость к различным условиям. Результаты исследования позволят сформулировать практические рекомендации по выбору архитектуры в зависимости от требований конкретного медицинского приложения.

В рамках настоящего исследования были выбраны четыре архитектуры глубоких нейронных сетей, представляющие два различных подхода к сегментации изображений: клас-

сические энкодер-декодер архитектуры (U-Net, U-Net++, DeepLabV3+) и современную однопроходную архитектуру для инстанс-сегментации (YOLO11n-seg). Такой выбор позволяет провести сравнительный анализ как между моделями, решающими задачу семантической сегментации, так и между семантическим и инстанс-подходом к сегментации медицинских изображений.

2. Материалы и методы

2.1. Описание нейронных сетей

В качестве энкодера во всех исследуемых архитектурах использовалась сеть ResNet-50, обеспечивающая извлечение признаков изображения на различных уровнях абстракции за счет применения остаточных соединений.

2.1.1 Архитектура U-Net

U-Net, предложенная Роннебергером с соавт. в 2015 году, представляет собой симметричную архитектуру энкодер-декодер, ставшую золотым стандартом для медицинской сегментации. Архитектура состоит из двух основных путей:

Сжимающий путь (энкодер): последовательность сверточных блоков. На каждом уровне энкодер удваивает количество каналов признаков, извлекая все более абстрактные контекстные признаки.

Расширяющий путь (декодер): симметричная структура, в которой каждый шаг включает апсемплинг (повышение разрешения) с последующей сверткой.

Выходной слой использует свертку 1×1 с сигмоидной функцией активации для получения вероятностной карты сегментации.

2.1.2 Архитектура U-Net++

U-Net++ является эволюционным развитием классической U-Net, предложенным Чжоу с соавт. для преодоления двух ключевых ограничений исходной архитектуры: неизвестной оптимальной глубины сети и негибкой схемы пропускающих соединений.

Основные архитектурные инновации U-Net++ включают:

В отличие от U-Net, где пропускающие соединения напрямую связывают соответствующие уровни энкодера и декодера, U-Net++ использует серию вложенных, плотных соединений между суб-сетями.

Архитектура с несколькими U-Net различной глубины: модель состоит из U-Net различной глубины, чьи декодеры плотно соединены на одном разрешении.

Глубокий супервизорный надзор: на каждом уровне декодера применяется дополнительная функция потерь, что способствует более эффективному обучению и позволяет использовать ансамбль моделей различной глубины.

Архитектура U-Net++ демонстрирует более высокую точность сегментации по сравнению с классической U-Net. В оригинальном исследовании средний прирост метрики IoU составил 3.9 процентных пункта при тестировании на нескольких медицинских наборах данных, включая изображения легких, печени, клеточных ядер и полипов кишечника [10].

2.1.3 Архитектура DeepLabV3+

DeepLabV3+ представляет собой современную архитектуру для семантической сегментации, основанную на сочетании энкодер-декодерной структуры и модуля Atrous Spatial Pyramid Pooling (ASPP). Ключевой особенностью модели является использование атросированных сверток, которые позволяют увеличить рецептивное поле без уменьшения пространственного разрешения карт признаков.

Модуль ASPP извлекает многомасштабные признаки с помощью набора атросированных сверток с различными коэффициентами дилатации, что обеспечивает эффективный учет как локального, так и глобального контекста изображения. Декодер объединяет высокоуровневые признаки с низкоуровневыми признаками энкодера, обеспечивая более точное восста-

новление границ сегментируемых объектов. Для снижения вычислительной сложности в архитектуре используются разделимые по глубине свертки.

Благодаря способности эффективно учитывать многомасштабный контекст и сохранять пространственную информацию DeepLabV3+ широко применяется в задачах медицинской сегментации, включая анализ компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии и других медицинских изображений.

2.1.4 Архитектура YOLO11n-seg

YOLO11n-seg представляет собой специализированную модель семейства YOLO11, предназначенную для решения задач инстанс-сегментации. В отличие от архитектур U-Net, U-Net++ и DeepLabV3+, выполняющих семантическую сегментацию, YOLO11s-seg одновременно обнаруживает объекты на изображении и формирует индивидуальную маску для каждого из них в рамках одного прохода через сеть.

Архитектура модели включает однопроходный детектор, CSP-бэкбон с блоками C3k2 для эффективного извлечения признаков, а также специализированную сегментационную головку, генерирующую маски объектов на основе набора прототипов и предсказанных коэффициентов. Модель использует anchor-free подход к обнаружению объектов, что упрощает процесс обучения и способствует повышению точности локализации.

Благодаря сочетанию высокой скорости инференса и качества сегментации YOLO11n-seg успешно применяется в различных задачах анализа медицинских изображений, включая сегментацию кожных поражений, патологий полости рта и других объектов, где требуется обработка изображений в режиме, близком к реальному времени.

2.2. Сравнительный анализ архитектур

Таблица 2.1

Подходы к архитектуре моделей

Модель	Подход к архитектуре
U-Net и U-Net++	Реализуют классическую энкодер-декодер парадигму с пропускающими соединениями, фокусируясь на максимальной пиксельной точности. U-Net++ дополнительно решает проблему семантического разрыва и неоптимальной глубины сети.
DeepLabV3+	Использует атросированные свертки и ASPP для мультимасштабного контекстного моделирования, обеспечивая баланс между точностью и вычислительной эффективностью.
YOLO11n-seg	Представляет современный подход инстанс-сегментации, оптимизированный для высокой скорости обработки и работы в реальном времени.

Такой выбор архитектур позволяет провести всестороннее сравнение как между моделями семантической сегментации, так и между семантическим и инстанс-подходами, что является актуальным для определения оптимальной стратегии сегментации медицинских изображений в зависимости от специфики конкретной клинической задачи.

2.3. Описание данных

В работе использовался набор данных, содержащий 182 изображений с соответствующей разметкой. Данные были разделены на обучающую (85%, 154 изображений), валидационную (15%, 28 изображений) выборки. Изображения имели разрешение 832x832, маски представлены в бинарном формате.

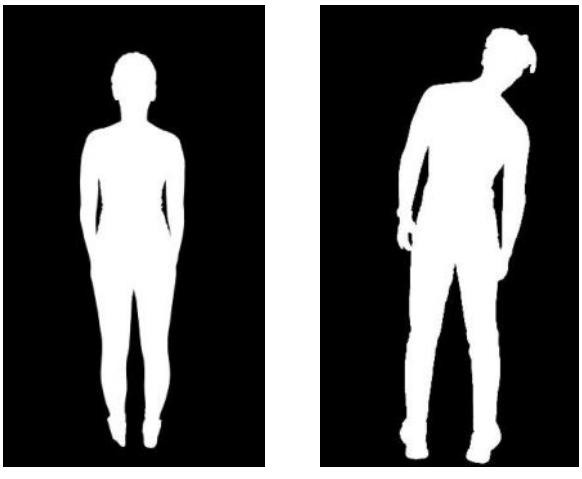


Рис. 2.1. Пример бинарных изображений из обучающего набора данных

2.4. Обучение

Таблица 2.2

Параметры обучения

Модель	Функция активации	Функция потерь	Оптимизатор	Размер батча
U-Net	Сигмоида	Dice loss + Smoothed Binary Cross-Entropy	Adam lr = 0.001	4
U-Net++	Сигмоида	Dice loss + Smoothed Binary Cross-Entropy	Adam lr = 0.001	8
DeepLabV3+	Сигмоида	Dice loss + Smoothed Binary Cross-Entropy	Adam lr = 0.001	4
YOLO11n-seg			Adam lr = 0.001	8

2.5. Метрики оценки

Для оценки качества сегментации моделей U-Net, U-Net++ и DeepLabV3+ использовалась метрика Intersection over Union (IoU), отражающая степень совпадения предсказанной и эталонной областей сегментации. Для модели YOLO11-seg, помимо IoU, дополнительно рассчитывались стандартные для задач инстанс-сегментации метрики seg_mAP50 (средняя точность при пороге IoU = 0,5) и seg_mAP50-95 (средняя точность, усредненная по порогам IoU от 0.5 до 0.95).

Производительность моделей оценивалась по среднему времени инференса одного изображения, общему времени обработки тестового набора, частоте обработки кадров (FPS) и количеству параметров модели, характеризующему ее вычислительную сложность и размер.

2.6. Экспериментальный стенд

Все эксперименты по обучению и тестированию моделей проводились в среде Kaggle с использованием графических ускорителей NVIDIA Tesla T4 и NVIDIA Tesla P100, оснащенных 16 ГБ видеопамяти. Реализация моделей U-Net, U-Net++ и DeepLabV3+ выполнялась с использованием фреймворка PyTorch, а обучение и оценка модели YOLO11s-seg – с использованием библиотеки Ultralytics. Все модели обучались и тестировались в одинаковых вычислительных

условиях, что обеспечило корректность сравнения их качества сегментации и производительности.

3. Результаты

3.1. Сравнение точности сегментации

Таблица 2.3

Сравнение метрик качества сегментации

Модель	IoU (средний)	mAP50	mAP50-95
U-Net	0.989	–	–
U-Net++	0.985	–	–
DeepLabV3+	0.987	–	–
Yolo11n-seg	0.982	0.995	0.974

Примечание: для U-Net mAP не рассчитывается, так как модель решает задачу семантической, а не инстанс-сегментации.

В таблице 2.3 представлена метрика качества сегментации IoU для всех моделей и метрики mAP50, mAP50-95 для модели Yolo11n-seg. Самую высокую точность показала модель U-Net, а самую низкую Yolo11n-seg.

3.2. Сравнение производительности

Таблица 3.1

Сравнение вычислительной эффективности

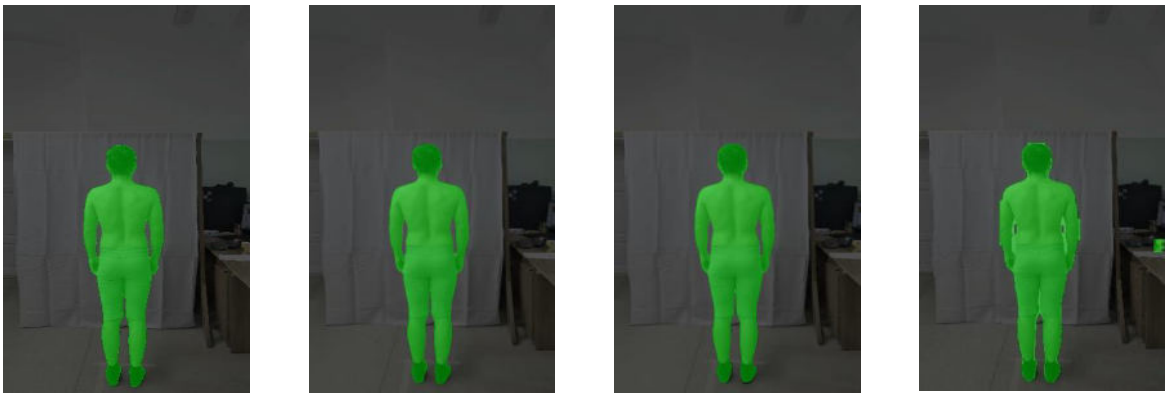
Модель	Параметры	Время инференса, с.	FPS	Среднее время на кадр, мс	Память, Мб
U-net	~28 Млн	633.96	2.0	511.7	124
U-net++	~28 Млн	765.45	1.6	617.8	187
DeepLabV3+	~44 Млн	636.85	1.9	514	102
Yolo11n-seg	~8.9 Млн	114.92	10.8	92.8	5.89

Результаты сравнения вычислительной эффективности моделей представлены в таблице 3.1. Наибольшую производительность продемонстрировала модель YOLO11n-seg, показавшая минимальное время инференса тестового набора – 114.92 с, среднее время обработки одного изображения 92.8 мс и скорость 10.8 FPS. Кроме того, данная модель имеет наименьшее число параметров (около 8.9 млн) и минимальное потребление памяти (5.89 МБ), что свидетельствует о ее высокой вычислительной эффективности.

Среди архитектур семантической сегментации наилучшие показатели быстродействия продемонстрировала U-Net, обеспечившая обработку одного изображения в среднем за 511.7 мс при скорости 2.0 FPS. Модель DeepLabV3+, несмотря на наибольшее число параметров (около 44 млн), показала сопоставимое время инференса (514.0 мс) и скорость 1.9 FPS, а также наименьшее потребление памяти среди рассматриваемых архитектур семантической сегментации (102 МБ). U-Net++ оказалась наиболее вычислительно затратной моделью: среднее время обработки одного изображения составило 617.8 мс, скорость – 1.6 FPS, а использование памяти достигло 187 МБ.

Полученные результаты показывают, что модели семейства YOLO значительно превосходят классические архитектуры семантической сегментации по скорости работы и вычислительной эффективности, что делает их более предпочтительными для задач обработки изображений в режиме реального времени.

Качественный анализ результатов сегментации показал, что U-net и U-net++ дают более гладкую и точную маску. На рисунке 3.1 представлены примеры сегментации всеми моделями.



а *б* *в* *г*

Рис. 3.1. Изображения семантической сегментации разных моделей:
а – U-Net, *б* –U-Net++, *в* – DeepLabV3+, *г* – Yolo11n-seg

Обсуждение результатов

Проведенное исследование показало, что все рассмотренные архитектуры способны эффективно решать задачу сегментации человека на фоне стены, однако между моделями наблюдаются существенные различия как в качестве сегментации, так и в вычислительной эффективности.

Архитектуры U-Net и U-Net++ продемонстрировали наиболее качественное выделение границ объектов. Благодаря наличию skip-соединений модели эффективно сохраняют пространственную информацию, что позволяет получать более гладкие и детализированные маски. При этом использование вложенных skip-соединений в U-Net++ не привело к существенному преимуществу по сравнению с классической U-Net на исследуемом наборе данных, однако сопровождалось увеличением времени инференса и потребления памяти.

Модель DeepLabV3+ обеспечила качество сегментации, сопоставимое с U-Net, однако оказалась более сложной с вычислительной точки зрения. Несмотря на использование энкодера ResNet-50 и модуля ASPP, позволяющего учитывать многомасштабный контекст изображения, преимущества данной архитектуры не проявились в полной мере. Вероятной причиной является простота рассматриваемой сцены: сегментация выполнялась для единственного объекта на относительно однородном фоне, где использование сложных механизмов извлечения контекста не обеспечивает заметного выигрыша.

Наиболее высокой вычислительной эффективностью характеризовалась модель YOLO11n-seg, значительно превзошедшая остальные архитектуры по скорости инференса и количеству обрабатываемых кадров в секунду. При этом качество визуальной сегментации несколько уступало специализированным архитектурам семантической сегментации: границы объектов были менее сглаженными, а в отдельных случаях наблюдались небольшие погрешности вдоль контура человека. Тем не менее достигнутая скорость обработки делает данную модель наиболее перспективной для систем, функционирующих в режиме реального времени.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что выбор архитектуры определяется требованиями конкретной задачи. В нашем случае приоритетом является максимальная точность выделения границ объекта, поэтому предпочтительными являются U-Net или U-Net++.

Список литературы

1. Litjens, G., et al. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. Medical Image Analysis, 42, 60-88.

2. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. MICCAI, 234–241.

3. Ultralytics. (2024). YOLO11 Documentation. Ultralytics.

4. Zhou, Y., et al. (2025). AMAY-Net: adaptive multi-scale attention YOLO network for liver and gallbladder segmentation. PeerJ Computer Science, 11, e2961.

5. Ismail, M. I. B., et al. (2026). YOLOv8m-segmentation for detecting cervical burnout and caries. Imaging Science in Dentistry, 56(1), 26-35.

6. Marchal, I., Ali, Z., Ammi, H., Smet, S., Van de Voorde, L., Varon, C., Ngan Yamb, M.-A., Yunda Sangoluisa, J. A., Quitin, F., & Nonclercq, A. (2026). Comparing YOLO and U-net deep learning algorithms in chronic wound image segmentation. BMC Medical Imaging, 26, 217.

7. U-Net and YOLOv8 Artificial Intelligence Models for Automated Recognition of Internal Jugular Veins and Radial Arteries: A Foundational Study for Artificial Intelligence-guided Vascular Cannulation in Point-of-care Ultrasound.

8. A sample application designed for detection of teeth and jaw bone from cone-beam computed tomography images using deep learning methods. Oral Radiology, 2026.

9. Comparative Analysis of Deep Learning Models for Olive Tree Crown and Shadow Segmentation Towards Biovolume Estimation. arXiv, 2025.

10. hou, Z., Siddiquee, M. M. R., Tajbakhsh, N., & Liang, J. (2018). UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation. In Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support (DLMIA 2018, LNCS 11045), pp. 3–11. Springer.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КУЛЬТУРЕ

УДК 81-114.2

ГАЛЛЮЦИНИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕВОДЕ ПОЭТИЧЕСКОЙ ФРАЗЕОЛОГИИ

Алвасете Е.Е., ассистент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0001-6150-4857

HALLUCINATION OF NEURAL NETWORK MODELS IN TRANSLATION OF POETIC PHRASEOLOGY

Alvasete E.E., assistant of the Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0001-6150-4857

Аннотация

Статья посвящена исследованию феномена галлюцинирования генеративных нейросетевых моделей при исполнении задачи перевода поэтического текста. Галлюцинирование рассматривается как специфический тип ошибки, при котором модель порождает фрагменты, не имеющие семантической или лексической опоры в исходном сообщении, но обладающие грамматической корректностью и стилистической правдоподобностью. Актуальность исследования обусловлена расширением практики применения больших языковых моделей в переводческой деятельности и недостаточной изученностью их поведения в условиях эстетически маркированного дискурса. В частности, выбор поэтического текста в качестве объекта анализа обуславливает доминированием в нем эстетической функции над информационной, высокой степенью формальной организации и семантической компрессии, создающих благоприятные условия для проявления систематических сбоев статистических моделей. Особенное внимание уделено переводу фразеологических единиц, которые в поэтической речи нередко оказываются подвержены различного рода трансформациям, актуализирующим культурно-маркированную прагматику как отдельных единиц, так и окружающего их контекста, а также представляют собой одну из наиболее проблемных зон для обработки искусственным интеллектом, с наибольшей частотностью вызывая галлюцинирование моделей. Эмпирическую базу исследования составили переводы фрагментов поэтических произведений на русском и английском языках, выполненные моделями ChatGPT, DeepSeek и YandexGPT. Сопоставительный анализ с оригиналами и эталонными переводами, выполненными переводчиками-людьми, позволил выделить три формы галлюцинирования: полную подмену смысла фрагмента, введение отдельных лексических элементов и введение эпитетов, отсутствующих в оригинале. На основании результатов анализа было установлено, что галлюцинирование провоцируется сочетанием двух факторов: нераспознаванием трансформированной или культурно-маркированной единицы и статистической стратегией заполнения смысловых лакун. Также в статье обосновывается разграничение галлюцинирования и смежных переводческих ошибок, и формулируются практические рекомендации для постредактирования нейросетевых переводов поэтических текстов. В заключении подчерки-

ваются основные ограничения выводов, а также подчеркивается необходимость разработки специализированных метрик, призванных упростить выявление галлюцинаций в контексте поэтических и прочего вида переводов.

Ключевые слова: нейросетевой перевод, поэтическая фразеология, галлюцинирование, постредактирование, фразеологические единицы, культурная маркированность

Abstract

The article examines the phenomenon of hallucination in generative neural network models performing the task of poetry translation. Hallucination is defined as a specific type of error in which a model generates fragments that have no semantic or lexical basis in the source text but are grammatically correct and stylistically plausible. The relevance of the study stems from the growing use of large language models in translation practice and the insufficient exploration of their behavior in aesthetically marked discourse. In particular, the choice of poetry as the object of analysis is motivated by the dominance of the aesthetic function over the informative one, as well as by the high degree of formal organization and the semantic compression that create favorable conditions for systematic failures in statistical models. Special attention is paid to the translation of phraseological units, which in poetic discourse are often subject to various transformations that actualize the culturally marked pragmatics of both individual units and their context of use. Such units also constitute one of the most challenging areas for artificial intelligence systems and are particularly prone to triggering hallucinations. The empirical basis of the study consists of translations of excerpts from poetic works in Russian and English language poetic works produced by ChatGPT, DeepSeek and YandexGPT. A comparative analysis of the machine-generated translations against the originals and reference translations produced by human translators made it possible to identify three forms of hallucination: complete substitution of the fragment meaning, insertion of individual lexical items, and insertion of epithets absent from the original text. The analysis demonstrates that hallucination is triggered by a combination of two factors: the failure to recognize a transformed or culturally marked unit and the statistical strategy of filling semantic gaps. The article also distinguishes hallucination from related types of translation errors and formulates practical recommendations for the post-editing of neural network translations of poetry. The conclusion highlights the main limitations of the findings and emphasizes the necessity of developing specialized metrics aimed at facilitating the detection of hallucinations in poetry and other types of translation.

Keywords: neural machine translation, poetic phraseology, hallucination, post-editing, phraseological units, cultural markedness

Введение

Расширение практики использования генеративных нейросетевых моделей (таких как большие языковые модели – LLM) в переводческой деятельности актуализирует вопрос о границах их применимости в работе с текстами, требующими не только точной передачи денотативного содержания, но и сохранения эстетической функции и прагматики высказывания. К числу таких текстов относится поэзия, представляющая собой особый режим функционирования языка, в рамках которого эстетическая функция высказывания превалирует над информационной, а формальные ограничения (метр, ритм, рифма, строфика) вступают с сложное взаимодействие с семантикой.

С появлением генеративных нейросетевых моделей, в основе которых лежит архитектура трансформер, стали предприниматься попытки автоматизировать перевод поэтических текстов. Часть экспериментов в этой области возымела успех, доказав, что статистическая природа моделей, обученных на больших корпусах параллельных и одноязычных текстов, действительно позволяет им воспроизводить такие формальные признаки поэтической речи, как: ритмическую организацию, рифму и интонационный рисунок [1, 2]. Однако вопрос о семан-

тической адекватности такого перевода остается открытым. Наблюдения за работой моделей, связанной с осуществлением ими перевода, показывают, что они способны порождать тексты, которые, хотя и выглядят как поэтические, содержательно расходятся с предложенным им оригиналом [3, 4]. Наиболее показательным проявлением такого расхождения является галлюцинирование – порождение моделью фрагментов текста, не имеющих опоры в исходном сообщении, в связи с чем именно оно заслуживает особого внимания и более подробного рассмотрения, как феномен, находящийся на пересечении компьютерной лингвистики, теории перевода и лингвопоэтики.

В настоящей статье феномен галлюцинирования нейросетевых моделей рассматривается на материале, при работе с которым он возникает с наибольшей вероятностью, а именно пласте фразеологических единиц (далее – ФЕ). Естественно, фразеологизмы не являются единицами, характеризующими поэзию как таковую, проявляясь с той же частотой и в иного рода дискурсах, однако в условиях дискурса поэтического они подвергаются интенсивной актуализации внутренней формы, семантической двуплановости и структурной вариативности. Зачастую поэты используют ФЕ не в их словарном, узуальном виде, а в трансформированном: субституция (замена) компонентов, контаминация (сращение), развертывание метафоры, буквализация образа – все эти приемы становятся причиной контекстуального приращения значений, которые, в соответствии с самой сущностью ФЕ, не выводятся из суммы значений представленных в составе компонентов [5]. Для нейросетевой модели, опирающейся на статистические закономерности корпуса, такая трансформация представляет собой аномалию, в следствие чего модель не распознает окказиональный вариант ФЕ, переключаясь на пословную интерпретацию, а затем, не находя адекватных соответствий, заполняет смысловые лакуны вероятностным материалом. Результатом описанных процессов становится галлюцинация – грамматически корректный и стилистически правдоподобный текстовый фрагмент, не имеющий отношения к исходному высказыванию.

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляют положения отечественной теории перевода, разработанные в трудах Н.К. Гарбовского, В.Н. Комисарова и А.Д. Швейцера, в соответствии с которыми перевод рассматривается как межъязыковое преобразование текста, подчиненное задачам сохранения функциональной и семантической эквивалентности, а также разграничиваются понятия переводческой трансформации и переводческой ошибки. В соответствии с этими положениями галлюцинирование в настоящей работе квалифицируется как специфический тип переводческой ошибки, свойственный системам машинного перевода на основе LLM и не имеющий системных аналогов в человеческой переводческой практике.

Анализ поэтического материала выполняется с опорой на традицию, восходящую к работам В.В. Виноградова и Г.О. Винокура, рассматривающих поэтический текст как систему, подразумевающую взаимную обусловленность планов представления и содержания. Фразеологический аспект исследования опирается на концепцию В.Н. Телии, трактующую ФЕ как единицы, обладающие целостным значением, не выводимым из суммы значений компонентов, и допускающие в поэтическом тексте трансформации, актуализирующие их внутреннюю форму.

Описание механизмов работы нейросетевых моделей опирается на работы в области NLP и дистрибутивной семантики. В частности, используются положения А. Васвани о векторном представлении слов и фразеологизмов в моделях архитектуры Transformer, заключения В. Данкерса о проблеме композициональности при обработке идиом, а также утверждения Ц. Чжи о феномене галлюцинирования в генеративных моделях.

Материалом исследования послужили нейросетевые переводы поэтических текстов авторства У. Шекспира, П.Б. Шелли, Р. Киплинга, А.С. Пушкина, М.Ю. Лермонтова и С.А. Есе-

нина на русском и английском языках, выполненные моделями ChatGPT (OpenAI), DeepSeek (DeepSeek AI) и YandexGPT (Yandex). Выбор авторов обусловлен наличием богатой традиции художественного перевода на русский язык, позволяющей отграничить случаи галлюцинирования от общепереводческих ошибок и контекстуально мотивированных замен.

Этапы анализа материала включали:

– сопоставительный анализ нейросетевого перевода с оригиналом и эталонными переводами с сопутствующей фиксацией всех случаев расхождения;

– компонентный анализ ФЕ, позволяющий установить наличие или отсутствие семантической связи между исходной единицей и единицей перевода;

– анализ и описание выявленных расхождений.

Результаты и обсуждение

Анализ материала показал, что галлюцинирование при переводе поэтической фразеологии носит не случайный, а системный характер, возникая преимущественно в тех текстовых зонах, где модель сталкивается с двойной неопределенностью, а именно: нераспознанной ФЕ и ее нестандартным лексическим окружением. В результате проведенного эксперимента нам удалось зафиксировать три формы проявления галлюцинирования.

1. Полная подмена смысла фрагмента. Наиболее наглядно эта форма представлена в переводе строки стихотворения С.А. Есенина «Весна на радость не похожа», выполненном YandexGPT:

(1) И долго, долго в дреме зыбкой. / Я оторвать не мог лица [6];

(2) I lingered there in that quiet space, / As though the world had ceased to fly [7].

В оригинале (1) представлена окказиональная субституция узуального фразеологизма «не оторвать глаз», ставшая результатом замены компонента «глаз» на «лица», придавшей обороту большей экспрессивности за счет обозначения не просто неотрывности взгляда, а полной обращенности лирического героя к своему собеседнику. Модель, не распознав трансформированную ФЕ, не только не передала ее значение, но и сгенерировала фрагмент, полностью утративший связь с исходным текстом (2). Вместо описания зрительного контакта модель создала образы некоего «тихого пространства» и «застывшего мира», которые не имеют мотивирующих маркеров ни в лексическом составе строки, ни в ее образной структуре. Стоит отметить, что в данном случае галлюцинирование не может быть объяснено низкой частотностью, а следовательно, и «незнанием» моделью фразеологизма. Английский аналог «can't take one's eyes off» также является высокочастотным, и, безусловно, представлен в материале обучающих корпусов. Причина ошибки – неспособность модели распознать окказиональную трансформацию и восстановить связь с узуальным прототипом. Вместо этого текст оказывается достроен на основе вероятностных ассоциаций, связанных с лирическим пейзажем, что порождает картину, отличную от представленной оригиналом.

2. Введение отдельных лексических элементов, отсутствующих в оригинале. В исследованном материале данная форма может быть представлена переводом обращения «душа-девица», обнаруживаемом в балладе А.С. Пушкина «Жених», выполненным моделью Deep Seek:

(3) Но не тужи, твой сон не лих / Поверь, душа-девица [6];

(4) But do not grieve, your dream's not drear – / Believe me, my heart's gentian [8].

Обращение «душа-девица» представляет собой фразеологизированное сочетание, укорененное в русской народно-песенной традиции. Компонент «душа» здесь выполняет не номинативную, а экспрессивно-оценочную функцию, передавая ласковое отношение говорящего к собеседнице. Предложенная моделью лексема «gentian» (горечавка) (4) не имеет опоры в оригинале и возникает, по-видимому, как результат вероятностной ассоциации между словами «heart» и названиями цветов в поэтическом контексте. Галлюцинированный фрагмент разрушает культурную маркированность исходного оборота и его народно-песенную стили-

стику, однако, будучи грамматически корректным, ритмически вписанным в строку и даже соблюдая заявленную фрагментом рифму, выглядит как намеренная поэтическая метафора. Описанная правдоподобность и делает галлюцинацию данного типа особенно трудной для распознавания при постредактировании.

3. Введение отсутствующих в оригинале эпитетов. Несмотря на сходство с предыдущей, данная форма выделяется в отдельную категорию, ввиду частотности представления в результатах исследования. Один из примеров данного типа галлюцинирования обнаруживается в переводе строки «To Wordsworth» («К Вордсфорту») авторства П.Б. Шелли, выполненном моделью DeepSeek:

(5) Thou hast like to a rock-built refuge stood / Above the blind and battling multitude [9];

(6) Ты был утесом, твердым и прямым, / Взнесенный над слепою, бранной тьмой [8].

«Rock-built refuge» представляет собой трансформированный библеизм «rock of refuge» – узуальное выражение, восходящее к Псалтири и обозначающее Бога как крепкую и надежную защиту. Шелли заменяет генитивную конструкцию на адъективную, что придает образу большую предметность, сохраняя вместе с тем библейскую аллюзию (5). Представленные в результате нейросетевого перевода эпитеты «твердым» и «прямым» не имеют соответствия в исходном тексте и являются результатом заполнения смысловой лакуны (6). Модель, не распознав аллюзию, переводит оборот пословно, а затем, стремясь к поэтической полноте строки, добавляет эпитеты, отсутствующие в контексте оригинала. Возникшая в результате смысловая лакуна заполнилась вероятностным материалом, создающим видимость осмысленности подбора адекватных метрике оригинала эквивалентов. В данном случае галлюцинирование возникает на стыке культурной аллюзии и лексической нестандартности, что в очередной раз доказывает значимость в этом вопросе не только самой единицы, но и окружающего ее контекста.

Помимо указанных случаев, в материале исследования были зафиксированы примеры, которые можно квалифицировать как пограничные, находящиеся между галлюцинированием как таковым и гиперфразеологизацией. Так, при переводе уже описанного выше пушкинского «душа-девица» модель ChatGPT предлагает вариант «maiden of my soul», который, формально передавая компоненты исходного сочетания, привносит в строку избыточную метафоричность, не свойственную узуальному русскому обращению [10]. Однако подобные случаи требуют отдельного изучения, поскольку, маскируясь под переводческую компенсацию, все еще представляют собой результаты неверного статистического перевода.

Сопоставление зафиксированных случаев позволяет выделить два ключевых условия, провоцирующих галлюцинирование:

– нераспознавание ФЕ или ее окказионального варианта, в результате которого модель переключается с фразеологической интерпретации на пословную, а затем, не находя адекватных соответствий для отдельных компонентов, заполняет лакуны вероятностным материалом;

– культурная маркированность оборота, отраженная в образной основе, но не привязанная к отдельному компоненту, обуславливающая нераспознание моделью соответствующей ФЕ как целостной единицы и, как результат, активную деформацию – порождение нового, отсутствующего в оригинале содержания.

Выводы

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы.

Галлюцинирование при нейросетевом переводе поэтической фразеологии возникает в зонах двойной неопределенности – при нераспознавании окказионально трансформированных или культурно-маркированных ФЕ – и проявляется в трех формах: полная подмена смысла фрагмента, введение отсутствующих лексических элементов и введение отсутствующих эпитетов.

Наибольшей склонностью к галлюцинированию среди рассмотренных моделей обладает YandexGPT, в результатах работы которой фиксируются как полная подмена смысла, так и введение отдельных, отсутствующих в исходном тексте элементов. DeepSeek демонстрирует склонность к галлюцинированию преимущественно в русско-английском направлении перевода, что, по-видимому, связано с меньшей частотой представления русского фразеологического материала в обучающих корпусах. ChatGPT оказывается в наименьшей степени склонной к галлюцинированию, однако не является полностью свободной от данного типа ошибок.

Практическим следствием является требование к осуществлению обязательной построчной сверки нейросетевого перевода с оригиналом во всех фрагментах, содержащих ФЕ или иные единицы, представляющие трудность для распознания ИИ. Внешняя связность и грамматическая правильность перевода не могут служить критерием его достоверности, поскольку галлюцинации нередко оказываются замаскированы под нормативный поэтический текст. Постредактирование нейросетевого перевода должно рассматриваться как профессиональная филологическая операция, требующая знания фразеологических систем обоих языков, понимания механизмов работы нейросетевых моделей и умения распознавать специфические для ИИ типы ошибок.

Ввиду ограниченности объема проанализированного материала и числа апробированных моделей, приведенные выводы носят предварительный характер и требуют верификации на расширенном корпусе текстов, однако уже сейчас они указывают на необходимость разработки специализированных метрик, позволяющих выявлять галлюцинированные фрагменты поэтического перевода, и перевода в целом, не только на уровне лексического сопоставления с оригиналом, но и на уровне семантической когерентности и культурной адекватности.

Список литературы

1. Rahman M. H. The Poetry of Programming: Utilizing Natural Language Processing for Creative Expression / M. H. Rahman, M. Kazi, D. Hassain // International journal of novel research and development. – 2023. – Vol. 8, № 8. – P. e632–e652.

2. Sharma R. A Review of Deep Learning Techniques in Poetry Generation / R. Sharma, H. Kaur // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2022. – Vol. 13, № 1. – P. 527–536.

3. Мамаева, Е. Е. Возможности искусственного интеллекта при переводе фразеологизмов в условиях художественного текста / Е. Е. Мамаева // Филология и культура. – 2024. – № 4 (78). – С. 96–103.

4. Jadnav R. S. Cross-Language Information Retrieval for Poetry Form of Literature-Based on Machine Transliteration using Modified Cosine Similarity Algorithm / R. S. Jadnav // Communications on Applied Nonlinear Analysis. – 2025. – Vol. 32, №2. – P. 337–354.

5. Телия, В. Н. Русская фразеология: Семантический, прагматический и лингвокультурный аспекты / В. Н. Телия. – Москва : Школа «Языки русской культуры», 1996. – 288 с.

6. Интернет-библиотека Алексея Комарова: сайт. – URL: https://ilibrary.ru/ (дата обращения: 05.06.2026).

7. YandexGPT: сайт. – URL: https://alice.yandex.ru/ (дата обращения: 23.06.2026).

8. DeepSeek: сайт. – URL: https://chat.deepseek.com/ (дата обращения: 23.06.2026).

9. Poetryfoundation: сайт. – URL: www.poetryfoundation.org/ (дата обращения: 11.07.2026).

10. ChatGPT: сайт. – URL: https://chatgpt.com/ (дата обращения: 23.06.2026).

УДК 004.032.26:78

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АЛГОРИТМ ТРАНСКРИПЦИИ АУДИОЗАПИСИ В НОТНУЮ ГРАФИКУ

Ахмедова А.М., к.пед.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-8559-1345;
Жажнева И.В., старший преподаватель кафедры анализа данных и технологий программирования ИВМиИТ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-7217-3758;
Жулий А.Д., бизнес аналитик, ООО «Нобилис Тим», г. Москва, Россия

NEURAL NETWORK ALGORITHM FOR TRANSCRIBING AUDIO RECORDINGS INTO MUSICAL NOTATION

Akhmedova A.M., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-8559-1345;
Zazhneva I.V., Senior Lecturer at the Department of Data Analysis and Programming Technologies, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-7217-3758;
Zhuliy A.D., business analyst, LLC «Nobilis Team», Moscow, Russia

Аннотация

В статье представлен нейросетевой алгоритм автоматической транскрипции музыки, предназначенный для преобразования аудиозаписей в нотную графику. Актуальность исследования обусловлена возрастающим спросом на инструменты, позволяющие музыкантам, композиторам и преподавателям оперативно фиксировать нотный текст по звуковой записи без необходимости специальных знаний в области музыкальной акустики. В основе разработанного алгоритма лежит архитектура трансформерного энкодера, которая благодаря механизму самовнимания обеспечивает эффективный учёт долгосрочных зависимостей в аудиосигнале. Обучение моделей выполнено на открытом датасете HooktheoryTheoryTab, содержащем 50 часов размеченных аудиозаписей различных жанров (поп, классика, блюз, джаз, кантри, рок, регги) с участием фортепиано, скрипки, гитары, ударных, духовых инструментов и вокала. Для каждой из двух подзадач – транскрипции мелодии и распознавания аккордов – обучена отдельная модель. Предварительная обработка данных включала: нормализацию, фильтрацию, фрейминг и извлечение спектральных, темпоральных, гармонических и тембральных признаков, включая мел-кепстральные коэффициенты и коэффициенты линейного предсказания. Постобработка результатов классификации выполняла: сглаживание последовательностей, устранение ложных срабатываний, определение длительности нот. На основе полученных данных система формирует MIDI-представление, которое конвертируется в PDF-документ с нотным листом, содержащим знаки альтерации, паузы и тактовую разметку. Разработанный алгоритм был интегрирован в веб-приложение. Функционал веб-приложения дает возможность пользователю не только загружать аудиофайлы или ссылки на видеохостинги, но и получать результат в асинхронном режиме с последующей выгрузкой. Корректность функционирования модулей, отвечающих за обнаружение тактов, сериализацию и конвертацию временных параметров, была верифицирована в ходе модульного тестирования. Область применение предложенного подхода охватывает музыкальную педагогику, композиторскую практику и разработку учебно-методических материалов.

Ключевые слова: транскрипция музыки, нейросетевой алгоритм, транформерный энкодер, аудиообработка, нотная графика, веб-приложение, глубокое обучение, распознавание аккордов, извлечение признаков, MIDI

Abstract

The article presents a neural network algorithm for automatic music transcription, designed to convert audio recordings into musical notation. The relevance of the research is due to the growing demand for tools that allow musicians, composers, and teachers to quickly capture musical notation from an audio recording without the need for specialized knowledge in the field of musical acoustics. The developed algorithm is based on a transformer encoder architecture, which, thanks to the self-attention mechanism, ensures an effective consideration of long-term dependencies in the audio signal. The models were trained on the open dataset HooktheoryTheoryTab, which contains 50 hours of labeled audio recordings of various genres (pop, classical, blues, jazz, country, rock, reggae) featuring piano, violin, guitar, drums, wind instruments, and vocals. A separate model was trained for each of the two subtasks – melody transcription and chord recognition. Data preprocessing included: normalization, filtering, framing, and extraction of spectral, temporal, harmonic, and timbral features, including Mel-cepstral coefficients and linear predictive coefficients. Post-processing of the classification results involved: smoothing the sequences, eliminating false positives, and determining note durations. Based on the obtained data, the system generates a MIDI representation, which is converted into a PDF document containing a sheet music sheet with accidentals, rests, and time signature markings. The developed algorithm was integrated into a web application. The functionality of the web application enables the user not only to upload audio files or links to video hosting services but also to obtain the result in asynchronous mode with subsequent download. The correct operation of the modules responsible for detecting beats, serializing, and converting time parameters was verified during unit testing. The proposed approach can be applied in music pedagogy, compositional practice, and the development of educational and methodological materials.

Keywords: music transcription, neural network algorithm, transformer encoder, audio processing, musical notation, web application, deep learning, chord recognition, feature extraction, MIDI

1. Введение

Цифровые технологии активно проникают в сферу культуры, трансформируя процессы создания, сохранения и распространения музыкального наследия [1, 2]. В этом контексте автоматическая транскрипция музыки становится одной из ключевых задач на стыке искусственного интеллекта и музыкального искусства. В условиях стремительного развития технологий искусственного интеллекта нейросетевые методы обработки сигналов занимают все более прочное место в прикладных задачах музыкальной акустики. Одной из наиболее востребованных является автоматическая транскрипция музыки – преобразование аудиозаписи в нотную запись.

Цифровые аудиоформаты открывают широкие возможности для применения вычислительных алгоритмов, однако сложность сигнала (тембр, полифония, темп), делает его анализ нетривиальной задачей. В последние годы глубокие нейронные сети показали высокие результаты в области распознавания и классификации аудиоданных, что открывает новые перспективы для создания эффективных конвертеров «аудио-ноты».

Настоящее исследование посвящено разработке нейросетевого алгоритма автоматической транскрипции, интегрированного в веб-приложение. Система совмещает вычислительную мощность глубокого обучения с удобством кроссплатформенного веб-интерфейса, делая технологию доступной для широкого круга пользователей: композиторов, аранжировщиков, педагогов, музыкантов и других.

Целью работы является создание нейросетевого алгоритма для конвертации загруженной аудиозаписи в структурированный нотный лист и его реализация в виде веб-сервиса. Для этого решаются задачи выбора архитектуры нейросети, обучения моделей на репрезентативном датасете, разработки алгоритма преобразования аудио в нотную запись и создания удобного веб-интерфейса.

2. Методы исследования

Обзор нейросетевых подходов к обработке аудио

Современные методы распознавания музыкальных сигналов опираются на различные архитектуры нейронных сетей. Глубокие рекуррентные сети (RNN) хорошо справляются с учётом временной последовательности, но страдают от проблемы затухающих градиентов [3]. Свёрточные сети (CNN) эффективно извлекают пространственные признаки из спектрограмм, однако не учитывают долгосрочные зависимости [4]. Комбинации RNN и CNN, а также автоэнкодеры находят применение в задачах сжатия и восстановления аудиоданных [5, 6]. В последнее время трансформеры, изначально разработанные для обработки текстов, показывают высокую эффективность при работе с переменными по длине последовательностями, включая аудио [7]. В данной работе в качестве базовой архитектуры выбран трансформерный энкодер, который обеспечивает баланс между учётом контекста и вычислительной эффективностью.

В табл. 1 приведено сравнение основных архитектур по ключевым критериям применительно к задаче транскрипции.

Таблица 1

Сравнение нейросетевых архитектур для обработки аудиосигналов

Архитектура	**Учёт временной структуры**	**Учёт пространственных признаков**	**Работа с длинными последовательностями**	**Вычислительная сложность**
RNN	Высокий	Низкий	Средний (проблема затухания градиента)	Средняя
CNN	Низкий	Высокий	Низкий (фиксированный размер окна)	Низкая
CNN + RNN	Средний	Высокий	Средний	Высокая
Автоэнкодер	Средний	Средний	Ограниченный	Средняя
Трансформер	Высокий (механизм внимания)	Средний (признаки на входе)	Высокий (глобальный контекст)	Высокая

Данные и предобработка

Для обучения моделей использован датасет HooktheoryTheoryTab (https://huggingface.co/datasets/m-a-p/HookTheory), содержащий 50 часов аудиозаписей. В наборе представлены жанры поп, классика, блюз, джаз, кантри, рок и регги, инструментарий включает фортепиано, скрипку, гитару, ударные, духовые и вокал. Все файлы приведены к моноформату, 16-бит, частоте дискретизации 22050 Гц и сохранены в WAV. Датасет содержит нотные аннотации, что позволяет применять контролируемое обучение.

Для каждой из двух подзадач – транскрипции мелодии и транскрипции аккордов – обучена отдельная модель на основе трансформерного энкодера.

Предварительная обработка включала нормализацию, фильтрацию и разбиение сигнала на фреймы. Для каждого фрейма вычислялись:

– временные признаки (энергия, пиковое и среднее значения, длительность);

– спектральные характеристики (спектральная центроида, ширина спектра, спектральная плоскостность);

– гармонические показатели (основная частота, число гармоник, гармоническая энергия);

– тембровые коэффициенты (MFCC и LPC).

Извлечение выполняется с использованием библиотеки librosa, а также опционально – с использованием встроенных признаков предобученной модели OpenAI Jukebox (при установке параметра use_jukebox).

Архитектура нейронной сети

В основе разработанного алгоритма лежит архитектура трансформерного энкодера, которая была адаптирована для задачи транскрипции музыки.

Структура модели представлена в табл. 2 в виде последовательности слоёв с указанием выходной размерности.

Таблица 2

Архитектура нейросетевой модели (трансформерный энкодер)

Слой	Тип слоя	Выходная размерность	Параметры
1	Входной (признаки)	(batch, seq_len, feat_dim)	feat_dim = 512 (MFCC + спектральные)
2	Линейное преобразование + позиционное кодирование	(batch, seq_len, d_model)	d_model = 256
3	Трансформерный энкодер (4 слоя)	(batch, seq_len, d_model)	num_heads = 8, dim_feedforward = 1024, dropout = 0.1
4	Полносвязный слой	(batch, seq_len, 512)	активация ReLU
5	Полносвязный слой	(batch, seq_len, 256)	активация ReLU
6	Полносвязный слой	(batch, seq_len, 64)	активация ReLU
7	Выходной слой (SoftMax)	(batch, seq_len, vocab_size)	vocab_size = 89 (мелодия, диапазон от C2 до B6) / 97 (аккорды)

Модель обучается отдельно для мелодии и для аккордов; выходной слой соответственно изменяется. Оптимизатор – Nadam (комбинация Adam и NAG) с начальной скоростью обучения 0.0001, функция потерь – кросс-энтропия. Гиперпараметры обучения сведены в табл. 3.

Таблица 3

Гиперпараметры обучения моделей

Параметр	Значение
Количество эпох	50
Размер батча	32
Скорость обучения (начальная)	0.0001
Оптимизатор	Nadam
Функция потерь	Кросс-энтропия
Регуляризация (Dropout)	0.1
Используемые признаки	MFCC, спектральные, гармонические, LPC (опционально Jukebox)

Транскрипция и постобработка

После классификации каждого фрейма выполняется постобработка: сглаживание последовательности, удаление ложных срабатываний, определение длительности нот и границ аккордов. Выходные данные представляют собой временные последовательности с указанием высоты тона, длительности и типа аккорда. На основе этих данных формируется MIDI-файл с помощью библиотек mido и pretty_midi. Затем MIDI конвертируется в PDF-документ нотного листа, и добавляются знаки альтерации (диезы, бемоли), паузы, определяется тактовый размер (4/4 или 3/4) и границы тактов.

Архитектура веб-приложения

Для предоставления доступа к алгоритму разработано веб-приложение на базе микрофреймворка Flask. Серверная часть обрабатывает HTTP-запросы, принимает файлы, запускает нейросетевой алгоритм в фоновом режиме и возвращает пользователю готовый PDF. Основные функции:

1. Главная страница с формой загрузки (поле для файла или URL).
2. Приём файла, проверка типа (MP3, WAV) и сохранение во временную директорию.
3. Асинхронная обработка с уведомлением пользователя о статусе (используется WebSocket или периодический опрос состояния).
4. Скачивание результата по ссылке после завершения.

Такой подход не требует установки специального ПО и работает в любом современном браузере

3. Результаты

Реализация нейросетевого алгоритма

Разработка велась на Python с использованием фреймворка PyTorch. Для каждой модели был реализован класс трансформерного энкодера, принимающий на вход набор аудиофичей. Обучение организовано в виде циклов по эпохам с вычислением функции потерь и обновлением весов оптимизатором Nadam. Для ускорения использовалась поддержка GPU.

Особое внимание уделено функциям разделения аудио на фрагменты и извлечения признаков. В коде реализованы подфункции основной функции sheetsage, выполняющей полный цикл:

– разбиение MIDI-файла на части согласно заданному числу тактов и долей;
– извлечение характеристик из аудиофайла;
– транскрибирование фрагментов звука с получением вероятностей для мелодии и гармонии;
– формирование нотного листа на основе этих вероятностей с учётом пороговых параметров;
– завершение процесса и возврат результата в виде объекта «Нотный лист» и вспомогательных данных.

Схема работы нейросетевого алгоритма представлена на рис. 1.

Для гибкости были введены настраиваемые параметры: audio_path_or_url, segment_start_hint, segment_end_hint, beats_per_measure, melody_threshold, harmony_threshold. Это позволяет пользователю управлять точностью и фрагментированием результата.

Дополнительно реализована функция проверки загрузки файла от пользователя: извлекается содержимое, вычисляется контрольная сумма, и файл сохраняется во временную папку для последующей обработки. Преобразование MIDI в PDF выполняется с использованием встроенных средств генерации нотной графики.

Реализация веб-интерфейса

Веб-приложение построено на Flask с использованием шаблонизатора Jinja2. Главная страница содержит форму с полем для загрузки файла (MP3, WAV). После отправки формы файл сохраняется на сервере, генерируется уникальный идентификатор задачи (jid), и задача помещается в очередь на обработку. Пользователь перенаправляется на страницу статуса, где

через AJAX-запросы отслеживается прогресс. После завершения обработки страница автоматически обновляется и предоставляет ссылку PDF-файла. Серверная часть поддерживает REST API для интеграции с другими приложениями (рис. 2).

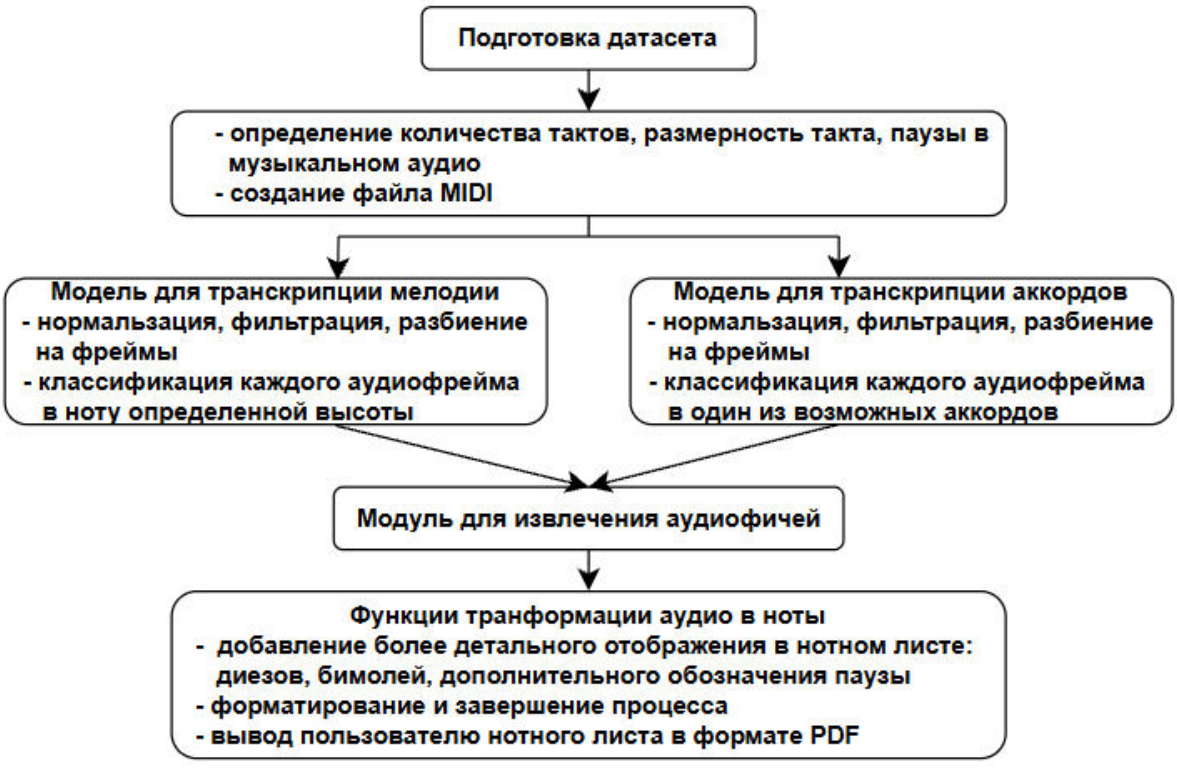


Рис. 1. Схема работы нейросетевого алгоритма

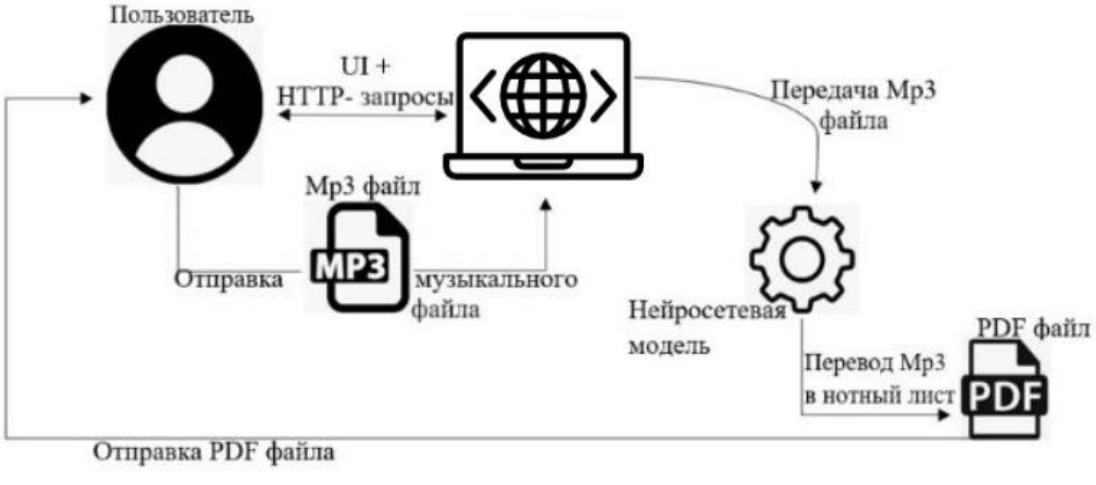


Рис. 2. Структурная схема работы приложения

Реализован механизм кэширования: если запрос с такой же контрольной суммой уже обрабатывался, результат выдаётся мгновенно без повторного расчёта. Это ускоряет работу при повторных обращениях к одним и тем же композициям.

Результаты тестирования

Тестирование веб-приложения проводилось вручную и автоматически (Selenium). Проверялись загрузка файла, отображение статуса, получение PDF. Модульные тесты Align, Beat_track и Data прошли успешно. Это подтверждает корректную работу функций конвертации тактов, детекции темпа и сериализации.

Оценка точности транскрипции проводилась на тестовой подвыборке (10% от датасета) по трем метрикам: Precision, Recall и F1-мера для мелодии (ноты) и для гармонии (аккорды). Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка точности модели

Параметр	Precision	Recall	F1-мера
Мелодия (ноты)	0,86	0,84	0,85
Гармония (аккорды)	0,74	0,71	0,72

Среднее время обработки пятиминутного аудиофайла на GPU NVIDIA Tesla T4 составило 28 секунд. Указанные результаты коррелируют с результатами современных систем автоматической транскрипции [8, 9], что подтверждает практическую применимость разработанного решения. При этом на сложных полифонических фрагментах точность ожидаемо снижается, что требует дальнейшего улучшения модели.

Апробация на разных музыкальных жанрах из тестовой выборки показала, что сервис во всех случаях генерирует читаемый нотный лист, хотя сложная полифония распознается хуже.

4. Обсуждение

Экспериментальные данные подтверждают эффективность трансформерного энкодера для задачи автоматической транскрипции – он обеспечивает хороший баланс между качеством и скоростью обработки. Полученные метрики F1=0.85 для мелодии и F1=0.72 для аккордов находятся в интервалах, характерных для современных систем, работающих на сходных наборах данных [6, 8, 10]. Однако наша модель демонстрирует заметное падение точности на фрагментах с плотной полифонией, фоновых шумах или реверберации – это объясняется тем, что обучение проводилось преимущественно на записях с относительно чистым звуком и малым числом одновременно звучащих инструментов.

По сравнения с гибридными CNN+RNN-решениями, трансформерная модель выигрывает в распознавании долгосрочных структур (например, повторяющиеся мотивы), но требует больше вычислительных ресурсов на этапе обучения. Внедренные в веб-приложение механизм кэширования и асинхронная обработка частично компенсирует эти затраты для конечного пользователя.

К числу ограничений текущей реализации относятся:

– жанровая избирательность: модель лучше работает на поп-музыке и классике, хуже – на джазе и регги с их сложной гармонией;

– чувствительность к темпу: при сильных отклонениях от среднего темпа (120 BPM) возрастает число ошибок в определении длительностей;

– поддержка только моно-формата без возможности обработки стереозаписей.

Тем не менее, полученные результаты подтверждают, что предложенный алгоритм может служить основой для практического инструмента, полезного в музыкальной педагогике и композиторской работе.

5. Выводы

В результате работы создан нейросетевой алгоритм автоматической транскрипции музыки на основе трансформерного энкодера и реализован в виде веб-сервиса. Система позволяет загружать аудиофайл или ссылку на видео через браузер и получать нотный лист в формате PDF без установки дополнительного ПО. Проведён анализ существующих подходов, выбрана оптимальная архитектура, обучены модели на датасете HooktheoryTheoryTab. Разработанный алгоритм включает полный цикл обработки – от извлечения спектральных и темпоральных

признаков до формирования нотной записи с учётом знаков альтерации и тактовых размеров. Веб-интерфейс на Flask обеспечивает удобство использования и кроссплатформенность, подтвержденые тестированием.

Практическая значимость работы заключается в создании инструмента, полезного как для профессионалов, так и для любителей музыки. Сервис может применяться для быстрой фиксации музыкальных идей, создания учебных материалов и анализа композиций.

Планируется улучшить точность распознавания полифонических фрагментов за счёт расширения датасета и применения аугментации, дообучения модели на записях с большим числом инструментов. Предполагается внедрение поддержки стерео-записей и возможности обработки файлов большей длительности. В перспективе развитие системы может включать:

– добавление интерактивного редактора нотной записи в веб-интерфейсе для ручной коррекции;

– интеграцию с популярными форматами (MusicXML, MIDI) для экспорта в профессиональные нотные редакторы;

– реализацию режима реального времени (ввод через микрофон с последующей транскрипцией);

– расширение функционала за счёт автоматического определения тональности и лада, а также генерации аппликатуры для различных инструментов.

Выполненное исследование демонстрирует успешное применение нейросетевых технологий в реальном пользовательском продукте и вносит вклад в развитие доступных инструментов музыкального информационного поиска.

Список литературы

1. Masood S., Gupta S., Khan S. Novel approach for musical instrument identification using neural network // 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON). – New Delhi, 2015. – P. 1-5. – DOI: 10.1109/INDICON.2015.7443497.

2. Wang A., Lindlbauer D., Donahue C. Towards Music-Aware Virtual Assistants // Proceedings of the 37th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '24). – New York: Association for Computing Machinery, 2024. – Article 127, P. 1-14. – DOI: 10.1145/3654777.3676416.

3. Chung Y.-A. Audio Word2Vec: Unsupervised Learning of Audio Segment Representations using Sequence-to-sequence Autoencoder [Electronic resource] / Yu-An Chung, Chao-Chung Wu, Chia-Hao Shen, Hung-Yi Lee, Lin-Shan Lee // arXiv.org. – 2016. – 3 Mar. – URL: https://arxiv.org/abs/1603.00982 (date of access: 28.07.2026). – DOI: 10.48550/arXiv.1603.00982.

4. Akulinina V., Akhmedova A., Zhazhneva I. A Neural Network System for Classifying Defects and Evaluating the Quality of Infographics on Marketplaces // 2026 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). – Sochi, 2026. – P. 393-398. – DOI: 10.1109/SmartIndustryCon68821.2026.11492950.

5. Gabitova A., Akhmedova A., Zhazhneva I. Traffic Sign Recognition System Based on Neural Network Algorithm // 2025 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). – Sochi, 2025. – P. 488-493. – DOI: 10.1109/SmartIndustryCon65166.2025.10985965.

6. Hawthorne C. et al. Onsets and Frames: Dual-Objective Piano Transcription // Proceedings of the 19th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2018). – Paris, 2018. – P. 50-57. – DOI: 10.5281/zenodo.1494370.

7. Akhmedova A., Zhazhneva I., Galimov G. System for News Summarizing Using a Neural Network Algorithm // 2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – Sochi, 2024. – P. 307-312. – DOI: 10.1109/RusAutoCon61949.2024.10694002.

8. Toyama K. et al. Automatic Piano Transcription with Hierarchical Frequency-Time Transformer // Proceedings of the 24th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2023). – Milan, 2023. – P. 215-222. – DOI: 10.5281/zenodo.10042718.

9. Wachter M., Murgul S., Heizmann M. Transformer-Based Rhythm Quantization of Performance MIDI Using Beat Annotations // 2025 International Conference on Smart Multimedia (ICSM). – Paris, 2025. – P. 1-7. – DOI: 10.1109/ICSM64417.2025.11541508.

10. Donahue C., Thickstun J., Liang P. Melody Transcription via Generative Pre-training // Proceedings of the 23rd International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2022). – 2022. – P. 1-8. – DOI: 10.5281/zenodo.7316716.

УДК 004

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРАВОВОГО РЕЖИМА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, СОЗДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Барышев С.А., к.ю.н., доцент кафедры гражданского права Казанского филиала ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия имени В.М. Лебедева», г. Казань, Россия; ORCID: 0000-0001-8632-0440

SPECIFIC FEATURES OF DETERMINING THE LEGAL REGIME OF DIGITAL IMAGES CREATED USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

Baryshev S.A., candidate of legal sciences, associate professor of the Department of Civil Law of the Kazan Branch of Russian State University of Justice named after V.M. Lebedev, Kazan, Russia; ORCID: 0000-0001-8632-0440

Аннотация

Статья посвящена анализу особенностей выявления правовых признаков цифровых изображений, созданных с помощью технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ). В статье определяется понятие цифрового изображения в целях проводимого исследования, выявляются общие нормативные признаки объекта авторских прав с учетом сложившейся судебной практики, а также рассматривается применение данных признаков к цифровым изображениям, созданным с помощью технологий ИИ. В статье также исследованы проблемы определения признаков творческого характера труда автора при создании цифрового изображения с помощью системы ИИ. Сформулированы выводы относительно определения созданного с помощью ИИ цифрового изображения как объекта авторского права, а также принадлежности прав на данный объект.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, авторское право, объект авторских прав, произведение, творчество, цифровое изображение, автор, искусственный интеллект

Abstract

The article is devoted to an analysis of the specific features of identifying the legal characteristics of digital images created using artificial intelligence technologies (hereinafter referred to as AI). For the purposes of the study, the article defines the concept of a digital image, identifies the general legal criteria of a copyrightable work in light of established judicial practice, and examines the applicability of these criteria to digital images created using AI technologies. The article also explores the challenges involved in determining the creative character of the author's contribution when a digital image is created using an AI system. The article formulates conclusions concerning the qualification of an AI-generated digital image as an object of copyright, as well as the ownership of rights in such an object.

Keywords: intellectual property, copyright, subject matter of copyright, work, creativity, digital image, author, artificial intelligence

Развитие современных цифровых технологий приводит как к возникновению новых предметов правового регулирования, так и к существенному изменению методов и способов регулирования ранее существовавших общественных отношений. Одной из сфер общественных отношений, где данный процесс проявляется наиболее ярко, являются отношения, связанные с созданием различного рода текстовых и цифровых объектов с использованием технологий ИИ.

При всем сходстве технологий ИИ, используемых для создания указанных выше текстов и изображений, специфика правовых отношений, связанных с их созданием и использованием позволяет, на наш взгляд, рассматривать данные объекты отдельно друг от друга.

В то же время существующие в настоящее время технологии ИИ позволяют создавать как изображения, которых ранее не существовало, так и определенным, порой самым существенным образом, изменять уже существующие в той или иной форме изображения.

В рамках написания данной статьи были использованы формально-юридический, системно-правовой, сравнительно-правовой методы, а также метод толкования правовых норм.

Важным аспектом рассматриваемой проблемы является определение того, что следует понимать под цифровым изображением. В цифровой форме могут быть представлены изображения, первоначально созданные в иной материальной форме в виде произведений живописи, графики, рисунка или картографии, которые были затем преобразованы в цифровую форму.

Применительно к теме настоящей статьи под цифровым изображением предлагается понимать изображения, созданные в их окончательном виде в цифровой форме, с использованием программ для ЭВМ, в том числе с использованием систем ИИ. Данный подход к определению цифрового изображения позволяет отнести к ним изначально созданные исключительно в цифровой форме изображения, а также изображения, которые существовали в иной материальной форме, затем были преобразованы в цифровую, и в них были внесены изменения с помощью программ для ЭВМ, которые позволяют отличить полученное изображение по его внешнему виду от существовавшего ранее.

Долгое время основными правовыми проблемами при определении совокупности прав такого рода цифровые объекты являлись проблема «параллельного творчества», связанная с созданием крайне схожих произведений с практически совпадающим творческим замыслом, и проблема определения наличия признаков творчества у цифровых объектов, созданных на основе уже существующих произведений, которые позволили бы рассматривать данные объекты как произведения – объекты авторских прав.

В связи с этим возникает проблема определения правового режима изображений, полученных в результате использования технологий ИИ. С этой точки зрения первый вопрос заключается в определении того факта, каким собственно объектом является полученное с помощью ИИ цифровое изображение, произведением либо каким-либо иным объектом, не наделенным правовыми признаками объекта авторских прав и, следовательно, какие гражданские права возникают на данный объект. Второй вопрос, являющийся логичным развитием предыдущего, заключается в определении того, какому лицу либо лицам принадлежат указанные выше права на цифровое изображение как объект гражданских прав.

Российское законодательство не содержит подробного, исчерпывающим образом нормативно-определенного перечня объектов авторских прав, в отличие, например, от подробного регулирования условий патентоспособности изобретений. Подобный подход в целом является традиционным для российского авторского права и для авторско-правового законодательства стран романо-германской правовой семьи [1]. В соответствии со ст. 1255, 1257 и 1259 Гражданского кодекса Российской Федерации (далее ГК РФ) традиционно выделяются два признака объекта авторских прав: определенная материальная форма выражения, доступ-

ная чувственному восприятию и творческий характер труда по созданию объекта. Российское авторское право, благодаря нормам ст. 1259 ГК РФ, содержащей открытый перечень видов объектов авторских прав, допускает самое широкое толкование признака их материальной формы. Таким образом, выраженное в цифровой форме изображение может в принципе рассматриваться в качестве одного из видов произведений как объектов авторских прав. В этой связи необходимо также учесть и тот факт, что преобразование произведения из одной материальной формы в другую, например оцифровка картины, является видом использования произведения и само по себе не приводит к появлению нового произведения.

Главным системообразующим признаком объекта авторских прав является творческий характер труда автора по его созданию. Проблеме определения понятия «творчества», применительно к определению концептуальных признаков произведения, в российской юридической науке уделяется довольно много внимания. Определенные критерии творчества, особенности презумпции творческого труда автора отражены в Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 23.04.2019 № 10 «О применении части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации» (далее Постановление Пленума) [2], а также в целом в судебной практике, особенно в практике Суда по интеллектуальным правам. В пункте 5 Обзора судебной практики рассмотрения гражданских дел, связанных с нарушением авторских и смежных прав в информационно-телекоммуникационной сети Интернет, утвержденного Президиумом Верховного Суда Российской Федерации 29.05.2024 [3], отмечено, что для разрешения вопроса о правовой охране объекта необходимо установить, проявил ли автор при его создании творческие способности путем свободного и творческого выбора.

В современном российском праве специальное правовое регулирование отношений, связанных с созданием объектов авторских прав с использованием ИИ, практически отсутствует. Исходя из общих положений ст. 1255, 1257 и 1259 ГК РФ и п. 80 Постановления Пленума, в Российской Федерации действует презумпция авторства, то есть если не доказано иное, результаты интеллектуальной деятельности, в том числе и объекты авторских прав, предполагаются созданными творческим трудом. Вместе с этим результаты, созданные с помощью технических средств в отсутствие творческого характера деятельности человека, объектами авторского права не являются. Соответственно, если расценивать системы ИИ лишь как техническое средство, обеспечивающее выполнение замысла автора, то цифровые изображения, созданные с их помощью, могут в принципе расцениваться как объекты авторских прав. Специальное законодательство в сфере правового регулирования ИИ, а именно ч. 1 ст. 10 Федерального закона от 26.07.2026 № 243-ФЗ «О поддержке развития технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации» допускает принципиальную возможность создания с помощью больших фундаментальных моделей ИИ объектов авторского права и, более того, возлагает на лиц, предоставляющих возможность применения данных моделей ИИ, ряд обязанностей, связанных с созданием результатов интеллектуальной деятельности.

Российское авторское право и судебная практика не содержат каких-либо однозначных признаков творчества. Ни отсутствие новизны, ни отсутствие оригинальности созданного результата (цифрового изображения) не могут свидетельствовать об отсутствии творческого вклада. Более того, цифровое изображение может быть создано на основе уже существующего произведения (изображения). В таком случае при наличии творческого вклада автора можно будет вести речь о производном произведении с особым правовым режимом, предполагающим соблюдение прав автора оригинального произведения.

Анализ технологий взаимодействия пользователя и систем ИИ свидетельствует о том, что степень творческого, самостоятельного участия физического лица в создании цифрового изображения может отличаться самым существенным образом. Системы ИИ позволяют создавать изображения, основываясь на односложных, состоящих буквально из нескольких слов промпта. Немаловажно, что созданные таким образом изображения могут существенно отличаться от уже имеющихся, то есть формально обладать признаками новизны и оригинально-

сти. И даже в том случае, если с помощью подобного, крайне ограниченного по содержанию, максимально общего промпта изменяется уже существующее произведение, с формальной точки зрения, получившийся результат может рассматриваться в качестве производного, но обладающего определенными отличиями от оригинала.

В то же время полученный таким образом результат вызывает определенные вопросы с точки зрения традиционных подходов в авторском праве. Во-первых, неясно, каким образом полученное изображение является результатом свободного и творческого выбора автора. Во-вторых, примененный несколько раз один и тот же промпт может последовательно приводить к получению существенно отличающихся друг от друга изображений, что в еще большей степени вызывает сомнения в ведущей роли пользователя, предполагаемого автора в его создании. При этом само по себе использование программного обеспечения, в том числе и ИИ, а равно иных технических устройств, способствующих автору, не может рассматриваться как основание для лишения результатов его труда признаков творчества. Примером могут служить фотографические произведения, произведения архитектуры, дизайна и др. Доказательством творческого участия автора в создании фотографии, например, является ситуация, «когда созданный им образ (форма изложения мысли, чувств) является результатом собственного (личного) умственного труда по передаче идеи (сущности) кого-чего-нибудь» [3 с. 170]. Отсутствие доказательств свободы физического лица в выборе характеристик произведения и отсутствие его контроля непосредственно за созданием отдельных элементов объекта закономерно ставит вопрос об отсутствии какого-либо творчества в создании изображения, которое будет представлять собой результат функционирования программы ИИ на основе минимальных команд пользователя.

Следует отметить, что подобный подход наблюдается и в судебной практике зарубежных стран. Примером может служить решение Судебного трибунала Парижа (Tribunal judiciaire de Paris), в котором указано, что «оригинальность произведения определяется, в частности, свободным и творческим выбором автора, характеризующим отпечаток его личности» [5].

Однако рассматриваемая выше ситуация с определением творческого вклада автора может существенно изменяться при наличии ряда обстоятельств. Прежде всего, промпт, как текстовая инструкция для системы ИИ, может носить достаточно объемный характер, подробно описывая особенности создаваемого изображения. Более того, промпт может быть и последовательным, что позволяет постепенно дорабатывать создаваемое системой ИИ изображение. Пользователь ИИ может самым подробным образом описать особенности цвета, композиции, ракурса, стиля и иные характеристики изображения, изменять отдельные элементы изображения, комбинировать промпты и создаваемые на их основе изображения, использовать технологию т.н. inpainting, позволяющую локально корректировать отдельные участки изображения с помощью ИИ. При этом сам промпт может носить определенные элементы творчества, описывая изображение, которого никогда еще не было.

Возможна и ситуация, при которой пользователь, выступающий в роли автора, изменяет с помощью ИИ созданное им изображение, являющееся объектом авторских прав. Автором могут использоваться также созданные им изображения, играющие роль черновых, подготовительных, для создания основного произведения с помощью систем ИИ. В данном случае, по нашему мнению, применение программных средств для видоизменения своего собственного произведения, тем более, не лишает вновь получаемое изображение статуса объекта авторских прав, так как автор вносит свой творческий вклад в создание основы для окончательного произведения.

Практически однозначным признаком, определяющим цифровое изображение как объект авторских прав, является внесение физическим лицом творческих изменений в созданное с помощью ИИ изображение. Подобные изменения, отражающие определенный замысел автора, свидетельствуют о его вкладе в создание нового цифрового изображения.

В этой связи в некоторых зарубежных странах, например во Франции, предлагается разграничивать гибридное произведение, при создании которого человек сохраняет активную роль в творческом процессе и синтетический результат, который создается без участия человека и остается за рамками авторского права [6, с. 6]. Либо предлагается ввести понятие автоматизированное произведение, которое определяется как любое оригинальное нематериальное творение, имеющее воспринимаемую форму, которое создано физическим лицом посредством автоматизированных процессов, реализуемых с использованием искусственной системы, обладающей определенной степенью автономии в процессе создания [7, с. 36].

В том случае, если в результате применения ИИ создается цифровое изображение, которое будет являться объектом авторских прав, автором данного произведения будет физическое лицо, творческим трудом которого оно создано. Соответственно, данный автор обладает всей полнотой интеллектуальных прав на данное произведение и вправе самостоятельно им распоряжаться, если исключить ситуации служебного произведения, произведения, созданного по заказу, исключительное право на которое будет передано по договору отчуждения. В связи с этим возникает вопрос о правовом регулировании взаимоотношений автора такого произведения и правообладателя системы ИИ, с помощью которого оно создано.

Например, Пользовательское соглашение об использовании Сервиса Kandinsky в пп. 5.2 и 5.7 содержит однозначное признание исключительности права пользователя на являющийся результатом интеллектуальной деятельности сгенерированный с помощью системы ИИ контент. Одновременно с этим устанавливается предоставление Банку «простой (неисключительной) безотзывной, безвозмездной лицензии на использование Сгенерированного Контента в течение всего срока действия исключительного права на территории всего мира» [8], определенными в соглашении способами. То есть в данном случае имеет место быть заключение существенно ограничивающего, но все же не лишающего пользователя всего содержания исключительного права, своеобразного лицензионного соглашения между пользователем и Банком.

С другой стороны, Условия использования сервиса «Шедеврум» в п. 3.3. устанавливают, что «пользователь вправе использовать Изображения, Видео, Тексты, Фильтрумы и Клипы, созданные им или другими Пользователями с использованием Сервиса, в личных некоммерческих целях…. Любое коммерческое использование Изображений, Фильтрумов, Видео, Клипов и/или Текстов возможно только при условии предварительного согласования с Яндексом» [9]. В указанном пункте не проводится разграничение между изображениями, представляющими собой объекты авторского права и изображениями, таковыми не являющимися. Пункт 3.3. Условия представляется нам не совсем корректным в отношении тех цифровых изображений, которые являются творческими произведениями, объектами авторских прав. Как мы указали выше, автор произведения, кроме случаев, указанных в законе, обладает всей полнотой правомочий по использованию произведения и распоряжением, возникающим на него исключительным правом. Поэтому положение Условий, заранее ограничивающее автора в использовании и распоряжении созданным им с помощью ИИ изображением, вступает в противоречие с нормами ст. 1255, 1270 ГК РФ. Пользовательские соглашения зарубежных сервисов, например, Midjourney platform, также предоставляют те же права, что и пп. 5.2 и 5.7 Пользовательского соглашения об использовании Сервиса Kandinsky [10].

Отдельно следует рассмотреть вопрос о правах, возникающих в отношении и тех изображений, которые не признаются объектами авторских прав. В первом приближении они могут рассматриваться как объекты, находящиеся в общественном достоянии, использование которых разрешается без ограничений, кроме случаев, указанных в законе. В то же время данные изображения являются результатом функционирования программы для ЭВМ (системы ИИ), что в отсутствие творческого вклада физического лица, автора, вполне, на наш взгляд, допускает установление правообладателем системы ИИ ограничений или особого порядка использования такого изображения.

Таким образом, представляется возможным сделать следующие выводы.

1. В условиях современного российского законодательства и правоприменения невозможно однозначно определить является ли любое цифровое изображение, созданное с помощью систем ИИ объектом авторских прав, или не является таковым. Использование систем ИИ само по себе не лишает полученное изображение статуса творческого произведения.

2. Признак творческого характера труда автора должен устанавливаться на основании всей совокупности рассмотренных в статье действий автора по созданию цифрового изображения с использованием ИИ.

3. С учетом действующей в российском законодательстве презумпции творческого труда автора выявление признаков объекта авторских прав должно осуществляться индивидуально в отношении каждого изображения, при возникновении споров в отношении использования и распоряжения такими изображениями.

4. В том случае, если в результате применения ИИ создается цифровое изображение, которое является объектом авторских прав, автору такого произведения должны принадлежать права на его использование и распоряжение им, за исключением тех прав, которые по лицензионному соглашению предоставляются обладателю прав на систему ИИ.

Список литературы

1. Loi n° 92-597 du 1 juillet 1992 relative au code de la propriété intellectuelle (partie législative) // Journal officiel de la République française. – 1992. – 3 juillet.

2. О применении части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации : постановление Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 23 апреля 2019 г. № 10 // Бюллетень Верховного Суда Российской Федерации. – 2019. – № 7.

3. Обзор судебной практики рассмотрения гражданских дел, связанных с нарушением авторских и смежных прав в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» : утв. Президиумом Верховного Суда Российской Федерации 29 мая 2024 г. – Текст : электронный // Консультант Плюс : справочно-правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/ (дата обращения: 19.08.2026).

4. Витко, В. С. К вопросу о содержании творческого труда фотографа / В. С. Витко // Журнал Суда по интеллектуальным правам. – 2024. – № 2 (44). – С. 153–171.

5. Tribunal judiciaire de Paris. Décision du 3 juin 2026. RG n 23/01374. – Текст : электронный // Cour de cassation : [сайт]. – 2026. – URL: https://www.courdecassation.fr/decision/6a2071e3cdc6046d47fd5fe5 (дата обращения: 19.08.2026).

6. Bensamoun, A., Groffe-Charrier J. Rapport de mission sur le statut des productions de l'intelligence artificielle / A. Bensamoun, J. Groffe-Charrier. – Текст : электронный // CSPLA : [сайт]. – 2026. – URL: https://www.culture.gouv.fr/mc/content/download/392420/pdf_file/CSPLA_Statut_des_productions_IA_juillet_2026-9.pdf (дата обращения: 19.08.2026). – С. 6.

7. Fandiño López, E. Les œuvres automatisées à l'épreuve du droit d'auteur : réflexions sur les créations réalisées par des systèmes d'intelligence artificielle : thèse de doctorat en droit / E. Fandiño López ; Université Paris Cité. – Текст : электронный // HAL Thèses : [сайт]. – 2023. – URL: https://theses.hal.science/tel-04120993 (дата обращения: 19.08.2026). – С. 36.

8. Пользовательское соглашение об использовании Сервиса Kandinsky. – Текст : электронный // Сбер : [сайт]. – URL: https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/files/promo/kandinskiy-terms/kandinskiy-terms-of-use.pdf (дата обращения: 19.08.2026).

9. Условия использования сервиса «Шедеврум». – Текст : электронный // Яндекс : [сайт]. – URL: https://yandex.ru/legal/shedevrum_termsofuse/ru/ (дата обращения: 19.08.2026).

10. Terms of Service. – Текст : электронный // Midjourney : [сайт]. – URL: https://docs.midjourney.com/hc/en-us/articles/32083055291277-Terms-of-Service (дата обращения: 19.08.2026).

УДК 004

О ПРИМЕНЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОМПОЗИТОРСКОМ ТВОРЧЕСТВЕ

Бяшимов М.Д., старший преподаватель кафедры композиции;
E-mail: merdan@bashimov.ru;
Садыкова Л.А., к.иск., доцент кафедры музыковедения и музыкально-прикладных технологий ФГБОУ ВО «Казанская государственная консерватория имени Н. Г. Жиганова», г. Казань, Россия;
E-mail: lilly_sadykova@mail.ru

ON THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN COMPOSITION

Byashimov M.D., Senior Lecturer, Department of Composition;
E-mail: merdan@bashimov.ru;
Sadykova L.A., Candidate of Art History, Associate Professor, Department of Musicology and Applied Musical Technologies, Kazan State Conservatory named after N.G. Zhiganov, Kazan, Russia;
E-mail: lilly_sadykova@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию специфики применения информационных технологий в современном композиторском творчестве. Актуальность темы обусловлена активной интеграцией цифровых решений в музыкальную практику.

В статье представлен обзор трудов зарубежных и отечественных исследователей, подтверждающих, что современные композиторы всё чаще опираются на виртуальные средства, открывающие новые возможности для аранжировки, записи и редактирования. Рассматриваются цифровые инструменты: секвенсоры, алгоритмические программы, семплеры и модульные синтезаторы, позволяющие экспериментировать с формой, ритмом и тембром.

Особое внимание уделяется MIDI-интерфейсу как универсальному формату передачи данных, а также классификации аппаратных и программных MIDI-устройств. Анализируются VST-плагины (синтезаторы, семплеры, ромплеры) на примере Kontakt, Serum и Omnisphere.

Ключевые слова: композиторское творчество, информационные технологии, MIDI, VST, Kontakt, Serum

Abstract

This article explores the specific application of information technology in contemporary composition. The topic's relevance stems from the active integration of digital solutions into musical practice and the lack of a systematic approach to the question of whether information technology is merely a tool or transforms the nature of creativity. The aim of the study is to identify key hardware and software tools and analyze their impact on the creative process.

This article presents a review of the work of international and Russian researchers confirming that contemporary composers are increasingly relying on virtual tools, which open up new possibilities for arranging, recording, and editing. Digital instruments are considered, including sequencers, algorithmic programs, samplers, and modular synthesizers, which allow for experimentation with form, rhythm, and timbre.

Particular attention is paid to the MIDI interface as a universal data transfer format, as well as the classification of hardware and software MIDI devices. VST plugins (synthesizers, samplers, and romplers) are analyzed, using Kontakt, Serum, and Omnisphere as examples.

Keywords: composition, information technology, MIDI, VST, Kontakt, Serum

Информационные технологии стремительно проникают во все сферы человеческой деятельности, и музыкальное искусство не стало исключением. Сегодня трудно представить современное композиторское творчество вне контекста цифровых решений и компьютерных программ. Тем не менее, несмотря на обилие программных средств, в музыковедческой литературе отсутствует системный взгляд на то, как именно меняется подход к работе композитора, являются ли информационные технологии лишь инструментом или они трансформируют само музыкальное творчество.

Цель данной статьи – исследовать специфику применения информационных технологий в процессе создания музыкальных произведений и выявить ключевые инструменты. Актуальность темы обусловлена все возрастающим интересом к интеграции новейших технологий в профессиональное музыкальное образование и практику. Вопросам применения информационных технологий в композиторском творчестве посвящен ряд трудов зарубежных и отечественных исследователей, представленный ниже.

Книга Э. Миранды «Создание музыки с помощью компьютеров», написанная в 2001 г., фокусируется на ряде методов компьютерной композиции: от вероятностей, формальных грамматик и фракталов до генетических алгоритмов, клеточных автоматов и нейронных вычислений. Она так же снабжена CD-диском, который содержит демоверсии необходимых для творчества программ [1]. Похожие идеи рассматривает К. Роудс в своей книге «Сочинение электронной музыки: новая эстетика». Он останавливается на вопросах теории композиции, которая трансформируется под воздействием современных технологий. Автор уделяет большое внимание эстетическим тенденциям и самой структуре музыкального материала [2]. Оба приведенных труда посвящены узкоспециализированным вопросам и в целом ориентируются на практическое применение исследуемых средств.

Процесс информатизации композиторского творчества не обходят стороной и отечественные исследователи. В отличие от иностранных коллег, О. В. Гирфанова [3] и Н. А. Бардаченко [4] в своих статьях рассматривают музыкальную культуру в целом в период массовой цифровизации, в том числе останавливаясь на нюансах композиторского творчества в этой среде. Н. А. Бардаченко приходит к следующему выводу: «На данный момент творческая практика большинства современных композиторов в основном опирается на применение виртуальных программных средств, что способствует обновлению и расширению технологии композиторского письма, а перед авторами открываются новые возможности в вопросах аранжировки, записи и редактировании музыкальных сочинений. Это, в свою очередь, актуализирует необходимость в овладении современным композитором возможностями медиапрограммирования, звукорежиссерскими технологиями, умением творчески использовать цифровые технологии в редактуре звука» [4].

Наиболее развернутое русскоязычное исследование по представленной тематике – кандидатская диссертация С. В. Пучкова «Музыкальные компьютерные технологии как новый инструментарий современного творчества» [5]. Автор не только прослеживает музыкально-исторические предпосылки возникновения и становления технической музыки, но и подробно останавливается на различных компьютерных технологиях, программах и методах работы с музыкальным материалом.

Все перечисленные работы подтверждают, что современные композиторы всё чаще используют цифровое оборудование и программное обеспечение, что значительно облегчает и расширяет возможности обработки звука. Цифровые инструменты изменяют подход к созданию музыки, позволяют экспериментировать с новыми формами выражения и влияют на эстетику произведения. Например, современные секвенсоры позволяют легко собирать музыку из отдельных фрагментов, экспериментируя с ритмом и структурой произведений. Алгоритмическое сочинение открывает путь к созданию уникальных мелодий и гармонии с помощью специальных программ, а работа с семплами даёт возможность включать в компо-

зицию самые разные звуки – от природных шумов до синтезированных эффектов. Генерация звука с нуля позволяет добиться необычных тембров и оттенков, а автоматизация параметров значительно упрощает управление громкостью, фильтрами и эффектами прямо в процессе написания музыки. Модульные синтезаторы и VST-плагины предоставляют практически неограниченную палитру инструментов и обработок, а интерактивные выступления с использованием сенсорных контроллеров делают живое исполнение более гибким и зрелищным. Наконец, распределённое сотрудничество через облачные сервисы помогает объединять усилия музыкантов из разных уголков мира.

Несмотря на многообразие технических и программных средств, стоит отметить, что большую роль в исследуемом процессе играет MIDI (*musical instrumental digital interface*). В своем учебном пособии «Современные музыкально-компьютерные технологии» А. В. Андерсен, Г. П. Овсянкина и Р. Г. Шитикова отмечают, что термин «обозначает управляющее звено программы или устройства, позволяющее объединять ряд подпрограмм или устройств в единое целое» [6, с. 19]. Кроме того, он является частью целого ряда терминов, некоторые из которых представлены ниже: «MIDI-файл – это файл музыкальных программ с расширением ".mid", являющийся универсальным для всех музыкальных программ… GM (General MIDI) – это стандартный пакет из 128 программ (инструментов), обозначающих и воспроизводящих тот или иной тембр синтезатора...» [6, с. 20].

Таким образом, MIDI – это формат передачи цифровых данных. Есть устройства, которые созданы специально для того, чтобы передавать и обрабатывать формат MIDI. Можно выделить две категории подобных устройств:

1. Аппаратные MIDI-устройства, например, синтезаторы Yamaha, Roland, Korg. В них установлено программное обеспечение MIDI, что позволяет при нажатии клавиши через внутренний процессор синтезатора переводить нажатие и силу удара в MIDI-байты. Готовый MIDI-пакет отправляется по кабелю в принимающее устройство, которое читает музыкальные команды.

2. Цифровые устройства без программного обеспечения MIDI, то есть устройства, созданные для других немузыкальных целей, которые способны отправлять только сырые числовые данные (компьютер). В этом случае в ход идет дополнительное программное обеспечение, которое переводит числовой сигнал, например, от нажатия левой кнопки мыши, в MIDI-ноту.

В свою очередь программное обеспечение (ПО) MIDI представляет для композиторов огромный круг возможностей: от простоты набора нот и редактуры до разработки собственных устройств – клавишных, пэдовых, фэйдерных, кнопочных контроллеров, контроллеров движений, но оснащенных при этом соответствующим ПО, которое должно быть снабжено необходимыми аудиоплагинами.

Существует несколько форматов аудиоплагинов, которые используются в зависимости от операционной системы и цифровой звуковой рабочей станции. Наиболее распространенным форматом является VST (*Virtual Studio Technology*) – это формат, разработанный компанией Steinberg. Изначально он создавался для эмуляции аппаратных аудиоэффектов (компрессоры, эквалайзеры, реверберaторы) в цифровой среде. Сегодня под термином «VST-плагин» понимают любые виртуальные инструменты (синтезаторы, сэмплеры) и эффекты обработки звука (реверберация, компрессия, эквализация). Композиторами наиболее часто применяют следующие категории VST-инструментов:

1. Синтезаторы, которые могут создать с нуля любой звук через осцилляторы и фильтры, такие как, например, Serum, Arturia Pigments.

2. Семплеры, которые воспроизводят заранее записанные звуки (семплы), а также позволяют добавлять и редактировать собственные, например, Native Instruments Kontakt.

3. Ромплеры, похожие на семплеры, с помощью которых можно, например, собрать фортепианную мелодию из заранее записанных отдельных нот с разной силой нажатия. В качестве примера можно привести Arturia Analog Lab, Omnisphere.

При наличии устройства с программным обеспечением MIDI и VST-инструмента для композитора раскрываются широкие возможности музыкальных красок. Например, с помощью VST-инструмента Native Instruments Kontakt можно создать свой собственный набор тембровых красок, которые будут разложены на определенные клавиши. Диапазон MIDI-нот (от 0 до 127) позволяет разместить до 128 тембров, каждый их которых может быть дополнен динамическими и прочими нюансами. Такой подход позволяет композитору выстраивать тембровую драматургию произведения не на основе традиционного оркестрового состава, а исходя из фонетических свойств конкретных семплов. Например, один и тот же MIDI-файл, пропущенный через Kontakt с библиотекой струнных и через синтезатор Serum, даёт два принципиально разных по смыслу произведения, что раздвигает границы жанра.

С помощью MIDI можно не только мгновенно выполнять копирование, удаление, реверс, ракоход, изменение темпа и тональности, размеров, но и сложные редакционные процессы. Например, можно создавать свои тембры, делать сложную выборочную редакцию (выбрать все ноты с громкостью 60 или с длительностью 1/8), использовать контроллеры для любых задач (играть одновременно на 16 инструментах, управлять 16 разными устройствами).

MIDI первой версии активно используется современными композиторами. Однако, с разработкой в 2020 году MIDI второй версии, у которого количество каналов с одного подключения увеличилось, а также кратно возросла шкала громкости, пользователи все чаще внедряют в свою работу этот обновленный инструмент.

Заключение

Проведенный обзор литературы, а также анализ программных средств, позволяет утверждать, что информационные технологии сегодня выступают не только как вспомогательные инструменты, но и как полноправные участники творческого процесса. MIDI-интерфейс и VST-плагины позволяют ускорить рутинные процессы, а также открывают совершенно новые возможности в области тембровых красок и интерактивного исполнения.

Вместе с тем, развитие технологий ставит перед композиторами и новые вызовы: необходимость овладения навыками звукорежиссуры и медиапрограммирования. Дальнейшие исследования в этой области могут быть связаны с изучением психологических аспектов работы в цифровой среде, а также с анализом жанровых трансформаций, вызванных внедрением искусственного интеллекта и облачных коллабораций. Таким образом, информатизация музыкального творчества – это не завершённый этап, а динамичный процесс, который продолжает расширять горизонты композиторского искусства.

Список литературы

1. Miranda E. R. Composing Music with Computers. New York: Routledge, 2001. – 256 p.

2. Roads C. Composing Electronic Music: A New Aesthetic. Oxford University Press, 2015. – 439 p.

3. Гирфанова О. В. Музыка в эпоху цифровых технологий // Научное обозрение. – 2018. – №1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/muzyka-v-epohu-tsifrovyh-tehnologiy (дата обращения: 17.07.2026).

4. Бардаченко Н. А. Музыкальная культура в эпоху цифровизации // ФКИ. 2021. № 9. – URL: https://fki.lgaki.info/2021/07/01/%d0%bc%d1%83%d0%b7%d1%8b%d0%ba%d0 / (дата обращения 12.07.2026).

5. Пучков С. В. Музыкальные компьютерные технологии как новый инструментарий современного творчества. Дис…. канд. иск. Санкт-Петербург, 2002. 296 с.

6. Андерсен А. В., Овсянкина Г. П., Шитикова Р. Г. Современные музыкально-компьютерные технологии: Учебное пособие. 3-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань»; Издательство «планета музыки», 2019. – 224 с.

УДК 004.8:159.9

CREATIVE ACTIVITY IN THE CONTEXT OF HUMAN INTERACTION WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS

Galiullina A.G., Lecturer, Department of Humanities and Design;
Galiullin A.R., Lecturer, Department of Theatre Creativity, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

ТВОРЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В КОНТЕКСТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С СИСТЕМАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Галиуллина А.Г., преподаватель кафедры гуманитарных наук и дизайна;
Галиуллин А.Р., преподаватель кафедры театрального творчества ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

Abstract

This article examines creative activity in the context of growing human interaction with artificial intelligence (AI) systems. A two-stage model of creativity is considered, distinguishing between the search and compositional stages, and the applicability of each to contemporary AI is assessed. Research findings on AI as an independent creative subject and as a tool for assessing and developing human creativity are summarized. The principal limitation of AI at the search stage is linked to the absence of a fully developed analogue of human common-sense knowledge and tacit experience. At the compositional stage, however, AI demonstrates substantial strengths in processing large datasets and exploring combinations of existing elements. Empirical studies show that AI can outperform average human participants on originality in some divergent-thinking tasks, although exceptional creative achievements remain associated with highly gifted people. In literary and artistic creativity, semantic coherence, personal experience, and emotional grounding continue to favor humans. Different forms of human–AI collaboration are also compared. The evidence suggests that using AI merely as an editor or source of ready-made material can constrain originality, whereas genuine co-authorship better preserves human creative agency. The article concludes that the most productive model is full co-authorship: the human retains a leading role in generating fundamentally new ideas and meanings, while AI expands productivity, supports evaluation, and systematizes knowledge.

Keywords: artificial intelligence, creative process, creativity, common-sense knowledge bases, human–machine interaction, creativity assessment, divergent thinking

Аннотация

В данной статье рассматривается творческая деятельность в контексте растущего взаимодействия человека с системами искусственного интеллекта (ИИ). Рассматривается двухэтапная модель творчества, различающая этапы поиска и композиции, и оценивается применимость каждого из них к современному ИИ. Обобщаются результаты исследований ИИ как самостоятельного творческого субъекта и как инструмента оценки и развития человеческого творчества. Основное ограничение ИИ на этапе поиска связано с отсутствием полностью развитого аналога человеческого здравого смысла и неявного опыта. Однако на этапе композиции ИИ демонстрирует существенные преимущества в обработке больших массивов данных и исследовании комбинаций существующих элементов. Эмпирические исследования показывают, что ИИ может превосходить средних участников-людей по оригинальности в некоторых задачах на дивергентное мышление, хотя исключительные творческие достижения по-прежнему ассоциируются с высокоодаренными людьми. В литературном и художественном твор-

честве семантическая связность, личный опыт и эмоциональная основа продолжают отдавать предпочтение людям. Также сравниваются различные формы сотрудничества человека и ИИ. Полученные данные свидетельствуют о том, что использование ИИ лишь в качестве редактора или источника готового материала может ограничивать оригинальность, в то время как подлинное соавторство лучше сохраняет творческую свободу человека. В статье делается вывод, что наиболее продуктивной моделью является полное соавторство: человек сохраняет ведущую роль в генерации принципиально новых идей и смыслов, в то время как ИИ расширяет продуктивность, поддерживает оценку и систематизирует знания.

Ключевые слова: искусственный интеллект, творческий процесс, креативность, базы знаний здравого смысла, взаимодействие человека и машины, оценка креативности, дивергентное мышление

Introduction

Technological progress has brought machine systems into areas traditionally regarded as exclusively human, including creativity. AI systems now compose music, generate visual images, and produce texts, making the question of whether machine output constitutes genuine creativity rather than imitation increasingly important. The problem of creativity occupies a central place in research on intelligent systems and must be considered philosophically, cognitively, and practically [3]. The purpose of this article is to identify the principal differences between human and machine creative capabilities and to determine interaction formats that can produce the best creative results [2].

Structure of the Creative Process and Its Applicability to AI Systems

Creativity can broadly be understood as the creation of something new, but novelty alone is insufficient for explaining the creative process [1]. In AI-related creative activity, two stages can be distinguished. The search stage involves defining a creative problem, establishing initial orientations, and choosing a direction under uncertainty. It depends heavily on common sense, intuition, tacit knowledge, and contextual understanding acquired through interaction with the physical and social world. This remains the most difficult stage for machine systems [1].

The compositional stage involves constructing a new product through combinations of existing elements. Here AI has important advantages: it can process enormous datasets and systematically explore multidimensional solution spaces [1]. The Iamus system, developed at the University of Málaga, illustrates this form of machine creativity: using Melomics technology and a large musical database, it generated original symphonic works without direct human composition; its music was recorded by the London Symphony Orchestra in 2012 [6].

The Problem of the Common-Sense Knowledge Base

The principal obstacle to full-fledged machine creativity is the lack of a developed analogue of human common sense. Much human knowledge is implicit, acquired from infancy through direct experience, and difficult to formalize. The Cyc (OpenCyc) project remains one of the largest attempts to represent common-sense knowledge, but even its extensive database does not allow reliable reasoning beyond formalized information [1]. Attempts to overcome this limitation through multivalued logic and fuzzy inference have not eliminated the gap: humans remain superior in reasonable decision-making under poorly structured conditions [19].

AI as an Independent Subject of Creative Activity

Studies using Guilford's Alternative Uses Task show that contemporary language models can achieve higher average originality than human participants, although they rarely produce the extreme originality sometimes demonstrated by exceptionally gifted people [11]. Other studies found AI responses more practically applicable but less flexible, original, and unexpected than human responses [12]. More recent models have nevertheless surpassed humans on several divergent-thinking tasks, including alternative uses, consequences, and divergent associations [13].

This advantage is less evident in forms of creativity requiring semantic coherence and artistic depth. Literary texts generated by AI have been found to show weaknesses in narrative complexity and documentary authenticity [14]. Human authors integrate personal experience, emotional memory, imagery, and a coherent artistic world–dimensions that remain difficult for systems operating without lived experience.

AI in the Assessment and Development of Creative Abilities

AI can also support human creativity by assessing and stimulating it. Machine-learning models applied to drawing-based creativity tests have achieved accuracy comparable to qualified expert evaluation, suggesting possibilities for large-scale diagnosis and identification of creative potential [8]. At the same time, automated assessment may reproduce systematic biases present in training data [2].

Research on machine feedback has identified opposing deployment and disclosure effects. More detailed AI feedback increased employee performance by 12.9% in one experiment, while explicitly telling employees that the evaluator was a machine reduced performance by 5.4%, apparently because of lower trust and concerns about replacement [10]. These findings show that psychological readiness is an important condition of effective human–AI interaction. Education should therefore emphasize critical analysis, practical problem solving, genuine creative thinking, and AI literacy rather than routine reproductive assignments [2].

Formats of Human–AI Co-Creation

When AI supplies initial material that a person merely edits, the resulting literary works may be judged more appropriate and plausible but less original than works produced without AI assistance [15]. A comparative study of poetry-writing formats found the lowest originality when people simply edited AI-generated texts, whereas collaborative creation better preserved creative autonomy [16]. Thus, the human should act as a co-author rather than a passive editor.

In visual creativity, AI tools increased individual artist productivity by 25% and the probability of positive expert evaluation by 50%, but reduced the overall novelty of the resulting content [17]. AI is therefore especially useful where productivity and consistency are important, while breakthrough originality remains primarily human. The concept of "relative creativity" further suggests judging AI output contextually, by asking whether it is indistinguishable from the work of a plausible hypothetical human creator [18].

Prospects for Human–AI Interaction in Creativity

The "Lady Lovelace objection" claims that computers cannot create independently because they execute programmed instructions. Yet if novelty is defined relative to a particular system, AI can generate something new within its operational space [1]. This permits a limited conception of machine creativity without denying the specificity of human creativity.

Human creativity remains grounded in a broad sociocultural context, interpersonal relationships, emotional memory, and lived experience [9]. For this reason, complementarity rather than competition is the most promising strategy. At the same time, excessive reliance on machine intelligence may weaken independent creative skills and make some previously essential forms of knowledge unnecessary [7]. Human intellectual development should therefore remain ahead of technological development.

Conclusion

Creative activity in interaction with AI is a multifaceted phenomenon. AI remains significantly weaker at the search stage, where common sense and tacit knowledge are crucial, but shows substantial potential at the compositional stage. Empirical evidence indicates that AI can exceed average human performance in originality on some divergent-thinking tasks, while exceptional creativity and creativity grounded in personal experience remain predominantly human strengths. The most productive model is full co-authorship: the human generates and directs fundamentally new ideas and meanings, while AI expands productivity, supports evaluation, and systematizes knowledge. Further research is needed as generative systems continue to develop and their role in professional and educational activity grows.

References

1. Alekseev A. Yu. The problem of creativity in artificial intelligence research // Epistemology of Creativity. Moscow: Kanon+, 2013. P. 374–415.

2. Cropley D. H., Theurer C., Mathijssen A. C. S., Marrone R. L. Fit-for-purpose creativity assessment: Automatic scoring of the Test of Creative Thinking-Drawing Production (TCT-DP) // Creativity Research Journal. 2024.

3. Darren Quick. Top notch AI system about as smart as a four-year-old, lacks commonsense // URL: http://www.gizmag.com/ai-system-iq-four-year-old/28321/ (accessed: 02.07.2026).

4. Kudryashev A. F., Elkhova O. I. From the specialist to the consumer // Alma mater (Higher School Bulletin). 2015. № 3. P. 12–16.

5. Kudryashev A. F., Elkhova O. I. General scientific picture of the world: the old in new guise // Bulletin of Bashkir State University. 2013. Vol. 18. № 4. P. 1255–1259.

6. Kudryashev A. F., Elkhova O. I. The creative process in systems with artificial intelligence // Bulletin of Bashkir University. 2016. Vol. 21. № 4. P. 1124–1128.

7. Peckham M. Finally, a Computer that Writes Contemporary Music without Human Help // New York Times. Jan. 04. 2013.

8. Tong S., Jia N., Luo X., Fang Z. The Janus face of artificial intelligence feedback: Deployment versus disclosure effects on employee performance // Strategic Management Journal. 2021. Vol. 42. № 9. P. 1600–1631.

9. Vecherin A. V., Yagolkovsky S. R. Artificial intelligence in the assessment and development of creativity // Psychology. Journal of the Higher School of Economics. 2024. Vol. 21. № 4. P. 787–799.

10. Vygotsky L. S. Collected Works: in 6 vols. Vol. 2. Moscow: Pedagogika, 1982.

УДК 008:004.9

ЦИФРОВАЯ ПАМЯТЬ ПОКОЛЕНИЙ: ОЦИФРОВКА И ДОСТУПНОСТЬ КУЛЬТУРНОГО ДОСТОЯНИЯ (НА МАТЕРИАЛАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Гарифуллина Р.С., д.пед.н., профессор, проректор по научной работе;
Сафин Ф.М., д.э.н., профессор, ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

DIGITAL MEMORY OF GENERATIONS: DIGITIZATION AND ACCESSIBILITY OF CULTURAL HERITAGE (BASED ON THE MATERIALS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN)

Garifullina R.S., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research;
Safin F.M., Doctor of Economic Sciences, Professor, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена формированию цифровой памяти поколений, под которой авторы понимают оцифровку культурного достояния в единстве с обеспечением его доступности и долговременной сохранности. На основе нормативных документов, официальных данных Министерства культуры Российской Федерации и Министерства культуры Республики Татарстан, а также итогов национального проекта «Культура» (2019–2024 гг.) рассмотрена сложившаяся инфраструктура цифровых ресурсов: Государственный каталог Музейного фонда РФ, Национальная электронная библиотека, платформа мультимедиа-гидов «Артефакт», виртуальные концертные залы. Отмечается, что после передачи профильных мероприятий в национальный проект «Семья» (с 2025 г.) курс на цифровизацию отрасли сохранился. Делается

вывод о том, что по мере накопления значительных объемов оцифрованных материалов на первый план выходят качество метаданных, долговременная сохранность и востребованность цифровых ресурсов. Определены условия, при которых оцифрованное наследие Татарстана может выполнять функцию передачи культурного опыта между поколениями.

Ключевые слова: цифровая память, оцифровка культурного наследия, доступность культурного достояния, цифровая культура, цифровое неравенство

Abstract

The article deals with the formation of the digital memory of generations, which the authors understand as the digitization of cultural heritage combined with ensuring its accessibility and long-term preservation. Drawing on regulatory documents, official data of the Ministry of Culture of the Russian Federation and the Ministry of Culture of the Republic of Tatarstan, as well as the results of the national project «Culture» (2019–2024), the authors examine the existing infrastructure of digital resources: the State Catalogue of the Museum Fund of the Russian Federation, the National Electronic Library, the «Artefact» multimedia guide platform and virtual concert halls. It is noted that the policy of digitizing the sector has continued since the relevant activities were transferred to the national project «Family» in 2025. The authors conclude that, as large volumes of digitized material accumulate, the quality of metadata, long-term preservation and actual demand for digital resources come to the fore. The article identifies the conditions under which the digitized heritage of Tatarstan can serve the transmission of cultural experience between generations.

Keywords: digital memory, digitization of cultural heritage, accessibility of cultural heritage, digital culture, digital divide

Введение

На протяжении столетий культурная память человечества закреплялась в материальных носителях: рукописях, печатных книгах, музейных предметах, архитектурных сооружениях, а позднее и в звукозаписях. Срок жизни любого из них ограничен, а обращение к источнику, как правило, требовало личного присутствия читателя или исследователя в месте его хранения. Наше обращение проблематике перевода культурных объектов в цифровую форму во многом устраняет зависимость от места хранения: электронная копия не привязана к конкретному фондохранилищу или читальному залу и при наличии сетевого доступа может быть открыта практически любому пользователю. Совокупность оцифрованных свидетельств культуры, собранных в информационных системах и пригодных для передачи последующим поколениям независимо от физического оригинала, составляет основу того, что в статье обозначается термином «цифровая память поколений».

Содержание этого понятия, на наш взгляд, шире простого накопления электронных копий. Речь идет о процессе, в котором оцифровка культурного достояния сопровождается его описанием, включением в общедоступные системы и обеспечением долговременной сохранности. Копия, лишенная описания и не включенная в открытый ресурс, фактически остается для пользователя недоступной, а файл в формате, утратившем программную поддержку, со временем может стать нечитаемым [6]. Поэтому оцифровку и обеспечение доступа целесообразно рассматривать как две стороны одной задачи – сохранения культурной памяти.

Актуальность исследования обусловлена тем, что за последние годы в России сформирована масштабная государственная инфраструктура цифровизации культуры. Ее основу заложил национальный проект «Культура» (2019–2024 гг.) [7], а с 2025 г. эта работа продолжается в рамках национального проекта «Семья» [9]. Республика Татарстан, обладающая богатым и многослойным культурным наследием, относится к числу регионов, где созданная инфраструктура получила содержательное наполнение. Подведение первых итогов этой работы представляется своевременным, в том числе в контексте обсуждения цифровой трансформации отраслей на международном форуме Kazan Digital Week.

Теоретической основой работы послужили исследования коллективной и культурной памяти. Согласно М. Хальбваксу, память общества не сводится к сумме индивидуальных воспоминаний: прошлое удерживается благодаря социальным рамкам, в которых оно осмысляется [10]. Я. Ассман рассматривает культурную память как институционализированную форму, опирающуюся на устойчивые носители и закрепленные практики передачи [11]. П. Нора ввел в научный оборот понятие «мест памяти», в которых сообщество фиксирует свою идентичность [12]. В русле этих представлений цифровые хранилища культурного достояния можно считать местами памяти нового типа. Их устойчивость, однако, определяется непрерывностью технического сопровождения, что порождает риски, не свойственные традиционным носителям [6].

Цель статьи – на материалах Республики Татарстан соотнести достигнутые объемы оцифровки с реальной доступностью культурного достояния и определить условия, при которых цифровые копии способны служить памятью поколений. Базу источников исследования составили нормативные правовые акты, официальные материалы Министерства культуры Российской Федерации (Минкультуры России) и Министерства культуры Республики Татарстан, данные информационных порталов в сфере культуры. Использовались методы анализа документов и сопоставления количественных показателей федерального и регионального уровней.

Исследовательская часть

Нормативную основу государственной политики в области цифровизации культуры образует ряд взаимосвязанных документов. Рамочное значение имеют Основы государственной культурной политики, утвержденные Указом Президента РФ от 24 декабря 2014 г. № 808 [1], Стратегия государственной культурной политики на период до 2030 года [5]. В обоих документах сохранение культурного наследия и расширение доступа граждан к культурным ценностям отнесены к приоритетным направлениям. Указы Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 и от 21 июля 2020 г. № 474 [2; 3] перевели эти приоритеты в плоскость проектного управления, а Указом от 7 мая 2024 г. № 309 [4] определены национальные цели, на достижение которых направлены национальные проекты, реализуемые с 2025 г.

Основным инструментом в отрасли стал национальный проект «Культура», осуществлявшийся с 1 января 2019 г. по 31 декабря 2024 г. под руководством Минкультуры России [7]. В него входили три федеральных проекта: «Культурная среда», «Творческие люди» и «Цифровая культура». На последний была возложена задача перевода культурного достояния в электронную форму и создания цифровых сервисов доступа к нему [8]. На реализацию мероприятий национального проекта из всех источников финансирования было направлено свыше 230 млрд руб., в стране построено и отремонтировано более 2,4 тыс. объектов культуры [7].

С 1 января 2025 г. мероприятия в сфере культуры реализуются в составе национального проекта «Семья». Преемником национального проекта «Культура» стал федеральный проект «Семейные ценности и инфраструктура культуры», рассчитанный до 2030 г. [9]. Методики расчета его показателей утверждены приказом Минкультуры России от 27 февраля 2025 г. № 358. Наряду с сохранением финансирования базовых направлений в проект включены новые инструменты. Среди них – создание 1,5 тыс. детских культурно-просветительских центров на базе музеев, библиотек и домов культуры (2025–2030 гг.), программа «Земский работник культуры», предусматривающая единовременную выплату специалистам, переезжающим на работу в малые населенные пункты, подключение всех модельных муниципальных библиотек к ресурсам Национальной электронной библиотеки (НЭБ) и ряд других [9]. Работа по цифровизации культурного достояния, начатая в 2019 г., продолжается, но уже в рамках более широкого, семейно ориентированного национального проекта.

К моменту завершения национального проекта «Культура» в стране сложилось несколько крупных цифровых хранилищ культурной памяти. Значения основных показателей федерального проекта «Цифровая культура» на начало и конец его реализации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные показатели федерального проекта «Цифровая культура» в 2019 и 2024 гг.

Показатель	2019	2024
Виртуальные концертные залы, ед.	80	500
Мультимедиа-гиды на платформе «Артефакт», ед.	75	430
Книжные памятники в Национальной электронной библиотеке, ед.	8 000	48 000
Онлайн-трансляции на портале «Культура.РФ», ед.	100	627

Источник: составлено авторами по данным Минкультуры России [13].

Центральное место в системе музейного учета занимает Государственный каталог Музейного фонда РФ (далее – Госкаталог), ведение которого предусмотрено Федеральным законом от 26 мая 1996 г. № 54-ФЗ. В Госкаталог вносятся сведения о музейных предметах и музейных коллекциях, включенных в состав Музейного фонда, вместе с их изображениями. На конец 2024 г. в нем было зарегистрировано около 47 млн предметов, к концу 2025 г. – более 55 млн. Рост показателя в 2025 г. связан с тем, что Федеральный закон от 3 июля 2016 г. № 357-ФЗ обязал внести в каталог сведения о предметах, учтенных в главных инвентарных книгах музеев, не позднее 31 декабря 2025 г.

Оцифрованное книжное наследие аккумулируется в НЭБ, статус которой закреплен Федеральным законом «О библиотечном деле». За годы реализации национального проекта в нее включено около 48 тыс. книжных памятников [8]. Перевод в цифровую форму фильмового наследия осуществляет Госфильмофонд России, где к концу 2024 г. было оцифровано порядка 22,5 тыс. наименований [7]. Для расширения доступа к музейным экспозициям и концертам созданы мультимедиа-гиды на платформе «Артефакт» и сеть виртуальных концертных залов (ВКЗ) на базе библиотек, музеев и домов культуры [8], а портал «Культура.РФ» дополнил эти сервисы регулярными онлайн-трансляциями (см. табл. 1).

В совокупности перечисленные системы образуют распределенную цифровую память, в которой музейный предмет, книжный памятник, кинодокумент или концерт получает электронное представление на общенациональных платформах. В то же время следует подчеркнуть, что приведенные показатели характеризуют объем оцифровки и созданной инфраструктуры, однако оставляют за фокусом внимания вопросы о качестве доступа к ресурсам.

Культурное наследие Татарстана сформировалось на пересечении тюркской, исламской и европейской традиций, что во многом определяет специфику задач его цифрового сохранения. На государственной охране в республике состоит более 1,5 тыс. объектов культурного наследия. Четыре объекта включены в Список всемирного наследия ЮНЕСКО: историко-архитектурный комплекс Казанского Кремля, Болгарский историко-археологический комплекс, Успенский собор и монастырь острова-града Свияжск, астрономические обсерватории Казанского федерального университета. Литературная традиция края восходит к поэме Кул Гали «Сказание о Йусуфе» (1212 г.) и продолжается в творчестве Г. Тукая и М. Джалиля. Оцифровка подобных памятников, помимо обеспечения их сохранности, делает их доступными новым поколениям на татарском и русском языках, в том числе татарам, проживающим за пределами республики.

В республике цифровизация отрасли осуществлялась в рамках региональных проектов «Культурная среда», «Творческие люди» и «Цифровая культура». Министерство культуры Республики Татарстан считает превращение культурного наследия в технологичный и доступный ресурс одной из главных целей этой работы. Республиканским сегментом библиотечной инфраструктуры является государственная информационная система «Национальная элек-

тронная библиотека Республики Татарстан», объединяющая каталоги библиотек республики и электронные издания. Продолжается оцифровка фондов Национальной библиотеки Республики Татарстан (НБ РТ). В 2024 г. в электронную форму переведено 15 006 документов, в том числе 1 405 книжных памятников. За время реализации федерального проекта «Цифровая культура» в Татарстане открыто 10 ВКЗ, что позволило сделать филармоническую музыку доступной и за пределами крупных городов.

Музеи республики участвуют в проекте «Артефакт» (платформа мультимедиа-гидов). По итогам конкурсного отбора в него вошли три музея: Национальный музей Республики Татарстан, Государственный музей изобразительных искусств Республики Татарстан и Музей исламской культуры. Наведя камеру смартфона на экспонат, посетитель получает его описание, аудиокомментарий и материалы дополненной реальности. Самостоятельной задачей остается последовательное внесение в Госкаталог сведений о музейных предметах. Так, собрание Национального музея Республики Татарстан насчитывает около 940 тыс. предметов. Полноценное электронное описание этого массива является условием его включения в широкий научный оборот: предмет, сведения о котором не внесены в Госкаталог, исследователь за пределами музея просто не найдет.

Особенность татарстанского опыта состоит в том, что цифровизация культуры здесь встроена в общую региональную цифровую повестку. На площадке форума Kazan Digital Week, программа которого включает направление «Цифровые технологии в культуре», культурные данные обсуждаются в одном ряду с данными других отраслей. При таком подходе вопрос о том, где хранится оцифрованное наследие и на каких условиях его можно использовать повторно, становится, как представляется, частью проблематики технологического суверенитета и суверенитета данных.

Достигнутые объемы оцифровки сами по себе еще не гарантируют сохранения культурной памяти. Между созданием электронной копии и ее доступностью для пользователя существует ряд препятствий, которые проявляются как на федеральном, так и на региональном уровне. Их можно условно объединить в три группы: проблемы описания и хранения данных, правовые ограничения и социальные барьеры.

Наиболее трудоемкой задачей первой группы является обеспечение качества метаданных и атрибуции. Научную и просветительскую ценность цифровое изображение приобретает лишь при наличии выверенного описания, включающего сведения об авторстве, датировке, происхождении предмета и его связях с другими объектами. Между тем значительная часть музейных фондов исторически описана неполно, а сверка учетных данных требует кропотливой работы хранителей. Не случайно состав сведений о предмете, вносимых в Госкаталог, строго регламентирован. При неполном или неточном описании цифровой массив плохо поддается поиску: пользователь не находит нужный объект, даже если его изображение давно размещено в системе.

К этой же группе относится проблема долговременной сохранности. Рукопись или печатная книга при надлежащих условиях может сохраняться столетиями, тогда как срок жизни цифрового файла зависит от поддержания всей сопутствующей инфраструктуры: носителей, форматов, программных сред. В Хартии ЮНЕСКО о сохранении цифрового наследия (2003 г.) быстрое устаревание оборудования и программного обеспечения прямо названо в числе факторов, ведущих к его утрате [6]. При отсутствии отлаженных процедур миграции данных и резервного копирования материалы, оцифрованные сегодня, через несколько десятилетий могут оказаться нечитаемыми. Цифровая память нуждается в постоянном сопровождении и расходы на него составляют существенную, хотя и менее заметную, чем сама оцифровка, часть общих затрат.

Правовые ограничения определяются сочетанием двух режимов – музейного законодательства и авторского права. Закон о Музейном фонде закрепляет за музеями право воспроизводить предметы своих собраний в целях сохранения фонда, однако использование их изобра-

жений, в том числе в коммерческих целях, подчинено особому порядку. Произведения авторов XX–XXI вв. во многих случаях продолжают охраняться авторским правом. Поэтому баланс между просветительской открытостью ресурсов и защитой интересов правообладателей приходится определять применительно к каждой коллекции, а нередко и к отдельному предмету.

Развитие цифровых технологий привело к появлению социальных барьеров, которые включаются в понятие «цифровое неравенство». Возможности виртуального концертного зала как платформы или мультимедиа-гида как инструмента реализуются лишь при наличии у пользователя устойчивого доступа к сети, подходящего устройства и навыков работы с цифровыми сервисами. В отдаленных и сельских районах эти условия обеспечены хуже, чем в городах, и существующее неравенство в доступе к культуре может отражаться в цифровой среде.

В обсуждении данной проблематики возникает вопрос, который реже других отражается в отчетной документации: в какой мере цифровые ресурсы действительно используются и участвуют в передаче культурного опыта между поколениями. Число размещенных копий характеризует доступность лишь отчасти. Существенно и то, насколько ресурсы вошли в образовательные программы, исследовательскую практику и повседневный культурный обиход. Цифровой объект, который технически доступен, но не сопровожден пояснениями и не востребован аудиторией, в ограниченной мере выполняет роль памяти поколений. Статистику обращений к цифровым ресурсам необходимо дополнять оценкой их реального использования в школах, вузах и семьях.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что в результате реализации национального проекта «Культура», а затем национального проекта «Семья», в России создана масштабная инфраструктура цифровой памяти, охватывающая музейные предметы, книжные памятники, фильмовое наследие, экспозиции и концертную деятельность [7; 9]. Республика Татарстан наполнила эту инфраструктуру конкретным содержанием, что выразилось в оцифровке фондов НБ РТ, участии музеев республики в проекте «Артефакт», открытии ВКЗ и внесении сведений о музейных коллекциях в Госкаталог.

Вместе с тем сопоставление объемов оцифровки с условиями доступа к ресурсам свидетельствует о том, что на первый план выходят качество описания (метаданных) электронных копий, их сохранность и востребованность. По нашему мнению, дальнейшее развитие цифровой памяти поколений зависит как от обеспечения полноты метаданных и научной атрибуции оцифрованных объектов, институционального закрепления процедур долговременного хранения и миграции данных, выработки понятных правовых условий использования цифровых копий в просветительских целях, так и от сокращения цифрового неравенства в отдаленных районах и включения цифровых ресурсов культуры в образовательную и исследовательскую практику. Показатели, отражающие решение этих задач, следовало бы учитывать наряду с объемами оцифровки, в том числе при оценке результатов федерального проекта «Семейные ценности и инфраструктура культуры».

Список литературы

1. Об утверждении Основ государственной культурной политики : Указ Президента Российской Федерации от 24.12.2014 № 808 (в действующей редакции). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года : Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года : Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5. Об утверждении Стратегии государственной культурной политики на период до 2030 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.02.2016 № 326-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. Хартия о сохранении цифрового наследия : принята Генеральной конференцией ЮНЕСКО 15 октября 2003 г. // Организация Объединенных Наций : официальный сайт. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/digital_heritage_charter.shtml (дата обращения: 07.09.2026).

7. Национальный проект «Культура» : официальные материалы / Министерство культуры Российской Федерации. – URL: https://culture.gov.ru/about/national-project/ (дата обращения: 24.06.2026).

8. Федеральный проект «Цифровая культура» : показатели реализации / Министерство культуры Российской Федерации. – URL: https://culture.gov.ru/about/national-project/digital-culture/ (дата обращения: 24.06.2026).

9. Национальный проект «Семья» : официальные материалы. – URL: https://национальныепроекты.рф/new-projects/semya/ (дата обращения: 24.06.2026).

10. Хальбвакс М. Социальные рамки памяти / пер. с фр. и вступ. ст. С. Н. Зенкина. – Москва : Новое издательство, 2007. – 348 с.

11. Ассман Я. Культурная память: Письмо, память о прошлом и политическая идентичность в высоких культурах древности / пер. с нем. М. М. Сокольской. – Москва : Языки славянской культуры, 2004. – 368 с.

12. Нора П. Франция-память / пер. с фр. Санкт-Петербург : Изд-во С.-Петербургского университета, 1999. – 328 с.

УДК 81’33, 81.512.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ТЕКСТОВ НА ТАТАРСКОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЖИМОВ ПОИСКА И РАССУЖДЕНИЯ В БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЯХ

Гимазов А.Р. аспирант;
ORCID: 0009-0004-9608-7792;
Гильмуллин Р.А., к.ф.-м.н., Институт прикладной семиотики Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-8520-8921

COMPARATIVE ANALYSIS OF FACTUAL ACCURACY IN TATAR LANGUAGE TEXT GENERATION USING SEARCH AND REASONING MODES IN LARGE LANGUAGE MODELS

Gimazov A.R., postgraduate student;
ORCID: 0009-0004-9608-7792;
Gilmullin R.A., Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Institute of Applied Semiotics, Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-8520-8921

Аннотация

В статье рассматривается проблема фактической достоверности текстов, генерируемых большими языковыми моделями (LLM) на татарском языке – низкоресурсном агглютинативном языке, для которого создание надёжных автоматических систем остаётся нетривиальной задачей. Цель работы – сравнительная оценка точности генерации фактических утверждений о Республике Татарстан при использовании различных режимов работы двух популярных моделей: DeepSeek и GigaChat. Для DeepSeek тестировались пять режимов, различающихся наличием внешнего поиска (RAG) и внутреннего рассуждения (Chain-of-Thought): Basic, Search, Deep Think, Search+Deep Think и Expert. Для GigaChat, где все режимы по умолчанию используют поиск в интернете, сравнивались три варианта: Basic, Deep Think и Investigation. Методология включала генерацию по 100 фактов на татарском языке для каждого режима (всего 800 фактов), ручную аннотацию каждого факта как истинного или ложного с применением детализированной таксономии из 11 типов ошибок, а также тематическую классификацию по 8 доменам (география, история, города, культура, кухня, персоналии, экономика, спорт). Результаты показали, что наибольшую точность обеспечивает режим с поиском: для DeepSeek Search – 93%, для GigaChat Investigation – 92%, что значимо выше базовых показателей (79% и 85% соответственно). При этом добавление цепочки рассуждений без поиска не улучшает точность (DeepSeek Deep Think – 84%), а комбинация поиска и рассуждения у DeepSeek даёт даже худший результат (84%), чем чистый поиск. Для GigaChat стандартное глубокое рассуждение (Deep Think) снижает точность до 82%, тогда как специализированный режим Investigation, напротив, повышает её до 92%. Наиболее частыми ошибками во всех режимах оказались полностью вымышленные факты (fake) и числовые неточности. По тематическим доменам наиболее проблемными оказались география и экономика, тогда как культура и история демонстрируют высокую точность при использовании поиска. Практическая значимость работы заключается в обосновании выбора оптимальных режимов LLM для создания достоверных образовательных и справочных ресурсов на татарском языке, а также в выявлении феномена «семантической галлюцинации» – порождения правдоподобных, но ложных деталей при избыточном рассуждении. Перспективы исследования включают расширение набора моделей, привлечение нескольких аннотаторов, варьирование температуры и кросс-языковые эксперименты.

Ключевые слова большие языковые модели, фактологический анализ, галлюцинации, генерация с дополнением извлечением (RAG), цепочка рассуждений, региональные знания, татарский язык, сравнительный анализ

Abstract

The paper addresses the problem of factual accuracy in texts generated by large language models (LLMs) in the Tatar language – a low-resource agglutinative language for which building reliable automated systems remains a challenging task. The aim is to comparatively evaluate the accuracy of generating factual statements about the Republic of Tatarstan across different operation modes of two popular models: DeepSeek and GigaChat. For DeepSeek, five modes were tested, differing in the presence of external retrieval (RAG) and internal reasoning (Chain-of-Thought): Basic, Search, Deep Think, Search+Deep Think, and Expert. For GigaChat, where all modes use internet search by default, three variants were compared: Basic, Deep Think, and Investigation. The methodology involved generating 100 facts in Tatar for each mode (800 facts total), manual annotation of each fact as true or false using a detailed taxonomy of 11 error types, and thematic classification into 8 domains (Geography, History, Cities, Culture, Cuisine, Persons, Economics, Sport). Results showed that the highest accuracy is achieved by retrieval-enabled modes: DeepSeek Search – 93%, GigaChat Investigation – 92%, significantly outperforming baseline modes (79% and 85%, respectively). Adding reasoning without retrieval does not improve accuracy (DeepSeek Deep Think – 84%), and combining retrieval with reasoning even degrades performance for DeepSeek (84%) compared to pure search.

For GigaChat, standard deep reasoning (Deep Think) reduces accuracy to 82%, while the specialized Investigation mode raises it to 92%. The most frequent errors across all modes were completely fabricated facts (fake) and numerical inaccuracies. Thematically, Geography and Economics are the most problematic domains, while Culture and History show high accuracy when retrieval is used. The practical significance lies in justifying the choice of optimal LLM modes for creating reliable educational and reference resources in Tatar, and in identifying the phenomenon of «semantic hallucination» – generation of plausible but false details under excessive reasoning. Future work includes expanding the set of models, involving multiple annotators, varying temperature, and cross-lingual experiments.

Keywords: large language models, factuality analysis, hallucinations, retrieval-augmented generation, chain-of-thought, regional knowledge, Tatar language, comparative analysis

1. Введение

В последние годы большие языковые модели (LLM) достигли впечатляющих успехов в генерации связных и правдоподобных текстов. Однако их склонность к порождению фактически неверных утверждений – так называемых «галлюцинаций» [1] – остаётся серьёзным препятствием для их использования в образовании, культурном наследии и регионоведении. Эта проблема особенно актуальна для языков, которые слабо представлены в обучающих корпусах. Татарский язык, будучи агглютинативным и низкоресурсным, требует специальных подходов к автоматической обработке, а региональные знания о Республике Татарстан часто отсутствуют в глобальных базах данных, используемых при обучении LLM.

Для снижения галлюцинаций в последнее время активно применяются два подхода: генерация с дополнением извлечением (Retrieval-Augmented Generation, RAG) [2], когда модель строит ответ на основе найденных во внешних источниках документов, и цепочка рассуждений (Chain-of-Thought, CoT) [3], когда модель поощряется к генерации промежуточных шагов перед финальным ответом. Обе техники показали улучшения на стандартных бенчмарках [4, 5], однако их взаимодействие на региональных, культурно-специфичных знаниях изучено недостаточно. Более того, семиотический аспект – каким образом модель конструирует образ региона через фактические, концептуальные или переводческие искажения – ранее не был изучен.

Цель данной работы – эмпирически сравнить фактологическую точность генерации на татарском языке при использовании различных режимов двух популярных LLM (DeepSeek и GigaChat) и выявить наиболее эффективные стратегии для создания достоверной информации о регионе. В исследовании рассматриваются три вопроса:

1. Как влияет режим работы (наличие поиска, наличие рассуждения) на общую фактическую точность?

2. Какие типы фактических ошибок преобладают в каждом из режимов?

3. В каких тематических областях модели наиболее уязвимы к ошибкам?

2. Методика

2.1 Модели и режимы работы

Эксперименты проводились с двумя моделями: DeepSeek (версия от июня 2026 г., доступ через веб интерфейс deepseek.com) и GigaChat (версия от августа 2026 г., доступ через веб интерфейс giga.chat). Для каждой модели были протестированы различные режимы, отличающиеся наличием внешнего поиска (RAG) и активацией внутреннего рассуждения (CoT).

DeepSeek предлагает пять режимов:

– Basic – стандартный режим без дополнительных инструментов.

– Search – режим с включённым поиском в интернете, без рассуждения.

– Deep Think – режим с внутренним рассуждением, без доступа к интернету.

– Search + Deep Think – комбинация поиска и рассуждения.

– Expert – режим, позиционируемый как авторитетный, с глубоким рассуждением по умолчанию (без поиска).

GigaChat предоставляет три режима, причём во всех из них по умолчанию активен поиск в интернете – это важное отличие от DeepSeek. Различаются они только характером рассуждения:

– Basic – стандартный режим с поиском, без дополнительного рассуждения.

– Deep Think – режим с углублённым рассуждением на фоне поиска.

– Investigation – режим «исследование», который по описанию разработчика предполагает более тщательную проверку фактов и, вероятно, более сложную стратегию рассуждения.

Во всех экспериментах температура генерации оставлена равной значению по умолчанию, чтобы не вносить дополнительной вариативности; влияние этого параметра планируется изучить отдельно.

2.2 Модели и режимы работы

Для каждого режима каждой модели был отправлен одинаковый промпт на татарском языке: «*Татарстан турында 100 факт яз*» (Напиши 100 фактов о Татарстане). Модели генерировали нумерованный список из 100 утверждений. Общий объём собранного материала – 800 фактов (5 режимов DeepSeek × 100 + 3 режима GigaChat × 100).

2.3 Таксономия ошибок

Каждый факт был вручную оценён носителем татарского языка. Сначала выносилось бинарное суждение «истина / ложь». Если утверждение было частично верным, но содержало неточность, оно относилось к ложным. Для каждого ложного факта назначалась одна из 11 категорий, разработанных итеративно в процессе разметки:

– Geography – ошибка в географических данных (положение, площадь, высота и т. п.);

– Misconception – распространённое, но неверное представление, подаваемое как факт;

– Rating – неверное ранжирование или сравнение;

– Translation – неверный или искажённый перевод с другого языка;

– Date – ошибка в дате;

– Fake – полностью сфабрикованный факт, не имеющий оснований в реальности;

– Name – ошибка в имени собственном;

– Substitution – замена одного понятия другим, связанным, но неверным;

– Outdated – факт, ранее верный, но утративший актуальность;

– Number – ошибка в числовом значении;

– Opinion – субъективное мнение, представленное как объективный факт.

При пограничных случаях выбиралась наиболее специфичная категория. Возможность множественной маркировки признаётся ограничением и будет учтена в дальнейшем.

2.4 Тематические домены

Каждому факту также присваивалась тематическая категория из восьми доменов:

– Geography – сведения о географическом положении, рельефе, водных объектах, климате, почвах и т. п.

– History – исторические события, даты, периоды, связанные с территорией республики.

– Cities – информация о городах и населённых пунктах: их статус, достопримечательности, инфраструктура.

– Culture – культурные объекты, традиции, праздники, музеи, театры, язык, религия.

– Cuisine – блюда национальной кухни, ингредиенты, способы приготовления.

– Persons – известные личности, родившиеся или работавшие в регионе.

– Economics – экономические показатели, предприятия, отрасли, инвестиции, транспорт.

– Sport – спортивные клубы, достижения, соревнования, проходившие в республике.

Небольшое число фактов, не попавших в перечисленные категории, отнесены к Other. Назначение выполнялось тем же экспертом.

3. Основная часть

3.1 Общая фактическая точность

В таблице 1 представлены общие показатели точности для всех режимов обеих моделей.

Таблица 1

Сравнительная точность различных режимов работы моделей

Модель	Режим	Точность
DeepSeek	Basic	79%
	Search	93%
	Deep Think	84%
	Search + Deep Think	84%
	Expert	84%
GigaChat	Basic	85%
	Deep Think	82%
	Investigation	92%

Для DeepSeek наилучший результат демонстрирует режим Search – 93% правильных фактов, что значимо выше базового режима (79%). Режимы Deep Think, Search + Deep Think и Expert показали 84%, что существенно хуже, чем один Search. Таким образом, у DeepSeek именно поиск является ключевым фактором повышения точности, а добавление рассуждения не даёт прироста, а в паре с поиском даже ухудшает результат.

Для GigaChat, где все режимы по умолчанию имеют доступ к интернету, картина иная. Режим Investigation достиг 92% – это лучший результат, значимо превосходящий Basic (85%). В то же время режим Deep Think (поиск + рассуждение) показал 82%, что даже ниже базового. Это указывает на то, что тип рассуждения сильно влияет на точность даже при наличии поиска: стандартное глубокое рассуждение может вредить, а специальный режим «исследования», напротив, помогает.

3.2 Распределение типов ошибок

В таблице 2 приведено распределение ошибок по категориям для всех режимов DeepSeek, а в таблице 3 – для GigaChat.

Таблица 2

Распределение типов ошибок для DeepSeek (по режимам)

Категория	Basic	Search	Deep Think	Search + Deep Think	Expert	Всего
Geography	2	1	2	0	5	10
Misconception	1	0	1	1	0	3
Rating	4	0	2	1	2	9
Translation	2	1	0	1	0	4
Date	2	0	0	1	0	3
Fake	4	1	4	5	6	20
Name	1	0	1	0	0	2
Substitution	2	0	4	0	0	6
Outdated	2	1	0	2	2	7
Number	1	2	2	5	1	11
Opinion	0	1	0	1	1	3
Всего	21	7	16	16	16	76

Таблица 3

Распределение типов ошибок для GigaChat (по режимам)

Категория	Basic	Deep Think	Investigation	Всего
Geography	3	3	0	6
Misconception	1	1	0	2
Rating	1	0	1	2
Translation	1	0	0	1
Date	0	2	0	2
Fake	5	7	2	14
Name	2	0	1	3
Substitution	0	0	0	0
Outdated	1	0	0	1
Number	1	5	1	7
Opinion	0	0	3	3
Всего	15	18	8	41

Для обеих моделей самой частой категорией ошибок является fake – полностью вымышленные факты (20 из 76 у DeepSeek, 14 из 41 у GigaChat). При этом в режимах с поиском количество таких ошибок резко падает (у DeepSeek Search – 1, у GigaChat Investigation – 2). В режимах с рассуждением без поиска (DeepSeek Deep Think, Expert) или с рассуждением поверх поиска (GigaChat Deep Think) наблюдается рост числа числовых ошибок (number) и подмен понятий (substitution). Например, у DeepSeek Deep Think – 4 substitution и 2 number, у GigaChat Deep Think – 5 number. Это говорит о том, что рассуждение провоцирует модель на генерацию конкретных цифр и аналогий, которые часто оказываются неверными. В режиме Investigation у GigaChat выделяются ошибки типа opinion (3), что может быть следствием того, что этот режим, ориентированный на критический анализ, иногда путает интерпретацию с фактом.

3.3 Анализ по тематическим доменам

В таблице 4 приведена точность по доменам для режимов, показавших наилучшие результаты (Search для DeepSeek и Investigation для GigaChat), в сравнении с базовыми режимами.

Таблица 4

Точность по тематическим доменам (доля правильных фактов)

Домен	DeepSeek Basic	DeepSeek Search	GigaChat Basic	GigaChat Investigation
Geography	70% (14/20)	89% (16/18)	65% (17/20)	80% (8/10)
History	95% (19/20)	100% (12/12)	100% (7/7)	90% (9/10)
Cities	80% (16/20)	100% (9/9)	80% (16/20)	89% (16/18)
Culture	100% (12/12)	96% (26/27)	83% (15/18)	95% (35/37)
Cuisine	67% (2/3)	100% (9/9)	90% (9/10)	100% (1/1)
Persons	100% (5/5)	100% (4/4)	80% (4/5)	100% (2/2)
Economics	50% (5/10)	86% (6/7)	94% (15/16)	79% (15/19)
Sport	50% (3/6)	60% (3/5)	100% (4/4)	100% (3/3)

Наиболее проблемными доменами для DeepSeek оказались География и Экономика (даже в режиме Search точность по географии – 89%, по экономике – 86%). Для GigaChat в режиме Investigation экономика, напротив, показывает низкую точность (79%) по сравнению с базовым режимом (94%), что является неожиданным результатом: добавление более сложного рассуждения в Investigation, видимо, приводит к появлению дополнительных числовых искажений в экономической сфере. География у GigaChat в Investigation также не достигает высоких значений (80%), хотя в базовом режиме она ещё ниже (65%). Культура и история у GigaChat в Investigation демонстрируют хорошие показатели (95% и 90% соответственно), что подтверждает эффективность поиска для этих доменов.

3.4 Качественные примеры ошибок

Приведём характерные ошибки, выявленные в ходе анализа.

– Substitution: *«УНИКС Казан – Евролига финалчысы (2011)»* (Казанский УНИКС – финалист Евролиги 2011) – DeepSeek Basic, факт №93. УНИКС был финалистом Еврокубка, а не Евролиги.

– Number: *«Татарстанда 5000 гә якын күл бар»* (В Татарстане около 5000 озёр) – DeepSeek Deep Think, факт №7. Реальное число озёр – около 8000.

– Fake: *«Указ (муенча) …»* – DeepSeek Deep Think, факт №82. Несуществующее блюдо, сфабрикованное моделью.

– Outdated: *«Казан метросы … дөньядагы иң кыска метро»* (Метро Казани самое короткое в мире) – DeepSeek Search+Deep Think, факт №42. Некогда верное утверждение устарело.

Важно, что в режимах с эффективным поиском (DeepSeek Search, GigaChat Investigation) ошибки типов rating, date, name практически отсутствуют, что подтверждает способность RAG устранять типичные пробелы в знаниях модели.

4. Заключение

В работе проведено сравнительное исследование фактологической точности генерации текстов на татарском языке с использованием двух крупных языковых моделей – DeepSeek и GigaChat – в различных режимах, различающихся наличием внешнего поиска и внутреннего рассуждения. На основе ручной аннотации 800 сгенерированных фактов о Республике Татарстан установлено следующее:

1. Режим поиска (RAG) является наиболее эффективным инструментом повышения точности: для DeepSeek – с 79% до 93%.

2. Добавление цепочки рассуждений без поиска не даёт статистически значимого улучшения, а в сочетании с поиском может даже снижать точность (DeepSeek: 93% → 84%).

3. Наиболее частые типы ошибок – полностью вымышленные факты (fake) и числовые неточности; режимы рассуждения увеличивают долю таких ошибок.

4. Домены «Культура» и «История» наименее подвержены ошибкам при наличии поиска, тогда как «География» и «Экономика» остаются проблемными областями.

Выявленный феномен «семантической галлюцинации» – порождение правдоподобных, но ложных деталей в результате избыточного рассуждения – требует дальнейшего изучения. Практическая значимость работы заключается в выработке рекомендаций для разработчиков образовательных и справочных систем на татарском языке: следует отдавать предпочтение режимам с RAG, избегая активации глубокого рассуждения, если это не требуется для творческих задач, и при этом учитывать, что даже продвинутые режимы могут давать сбои в экономических и географических темах.

В перспективе планируется расширение набора моделей (YandexGPT, LLaMA), привлечение нескольких аннотаторов для расчёта межэкспертной надёжности, систематическое варьирование температуры, а также проведение экспериментов на русском и английском языках для оценки кросс-языкового переноса. Результаты работы могут быть полезны не только для татарского, но и для других низкоресурсных языков России, способствуя их цифровой поддержке и сохранению культурного наследия.

Список литературы

1. Ji Z., Lee N., Frieske R., Yu T., Su D., Xu Y., Ishii E., Bang Y.J., Madotto A., Fung P. Survey of hallucination in natural language generation // ACM Computing Surveys. – 2023. – Vol. 55, № 12. – P. 1–38.

2. Lewis P., Perez E., Piktus A., Petroni F., Karpukhin V., Goyal N., Küttler H., Lewis M., Yih W., Rocktäschel T., Riedel S., Kiela D. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2020. – P. 9459–9474.

3. Wei J., Wang X., Schuurmans D., Bosma M., Ichter B., Xia F., Chi E., Le Q., Zhou D. Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2022. – P. 24824–24837.

4. Shuster K., Poff S., Chen M., Kiela D., Weston J. Retrieval augmentation reduces hallucination in conversation // Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021. – 2021. – P. 3784–3803.

5. Gao L., Ma X., Lin J., Callan J. Retrieval-augmented generation for large language models: A survey // arXiv preprint arXiv:2312.10997. – 2023.

УДК 004.93:811.163.1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ И ОБРАБОТКИ СТАРОСЛАВЯНСКИХ ТЕКСТОВ

Иванова И.А., к.т.н., заведующий кафедрой КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных», МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА);
ORCID: 0000-0002-7172-5418;
E-mail: ivanova_i@mirea.ru;
Пегов Е.В., студент Института кибербезопасности и цифровых технологий, кафедра КБ-14 «Цифровые технологии обработки данных», МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия

RESEARCH INTO METHODS FOR AUTOMATIC RECOGNITION AND PROCESSING OF OLD CHURCH SLAVONIC TEXTS

Ivanova I.A., Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, Head of the Department of KB 14 «Digital Data Processing Technologies», MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA);
ORCID: 0000-0002-7172-5418;
E-mail: ivanova_i@mirea.ru;
Pegov E.V., student, Institute of Cybersecurity and Digital Technologies, Department KB-14 «Digital Data Processing Technologies», MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia

Аннотация

Рассматривается задача автоматического распознавания и обработки старославянских/церковнославянских текстов, представленных в виде изображений исторических документов. Актуальность выбранной задачи обуславливается особенностями старославянской письменности, включая использование архаичных начертаний букв, надстрочных знаков, титл, сокращений и других графических элементов, а также опечаток, которые встречаются в старых текстах, затрудняющих автоматическое преобразование изображений в машиночитаемый текст. Целью работы является определение наиболее подходящего подхода к построению системы автоматического распознавания и обработки старославянских текстов на основе анализа существующих решений и исследования методов предварительной обработки изображений.

В проведенном исследовании рассматриваются четыре доступных для локального использования решения, а именно: система оптического распознавания символов (Optical Character Recognition, OCR) Tesseract, модель из открытого репозитория для распознавания церковнославянских текстов, специализированная модель Polyscriptor и модель TrOCR, адаптированная для церковнославянских текстов. Дополнительно оценивается влияние методов предварительной обработки изображений на качество распознавания. Экспериментальная оценка проводится на основе заранее подготовленной выборке из 300 изображений строк старославянских текстов, содержащих соответствующие эталонные расшифровки. Для количественного сравнения качества распознавания используются показатели частоты ошибок на уровне символов и слов, позволяющие оценить точность полученного текста относительно эталонной расшифровки. Помимо этого исследуется влияние предварительной обработки изображений, включающих в себя преобразование в оттенки серого, увеличение размеров изображения и бинаризацию методом Оцу. По результатам проведенных экспериментов специализированная модель Polyscriptor показала наилучшее качество распознавания с частотой ошибок на уровне символов 2,36% и на уровне слов 12,27%, тогда как модель TrOCR показала значения на уровне 4,32% и 19,31% соответственно. Стандартная модель Tesseract и предобученная модель из открытого репозитория продемонстрировали значительно более низкую точность по сравнению с двумя другими решениями, что указывает на необходимость использования моделей, адаптированных к особенностям старославянской письменности. После получения результатов был сделан вывод по поводу наиболее подходящей модели для использования в системе автоматического распознавания и были сформированы рекомендации по применению методов предварительной обработки изображений.

Ключевые слова: старославянский текст, оптическое распознавание символов, распознавание исторических документов, компьютерное зрение, обработка изображений, нейронные сети

Abstract

The paper considers the task of automatic recognition and processing of Old Church Slavonic and Church Slavonic texts represented as images of historical documents. The relevance of this task is determined by the specific features of Old Church Slavonic writing, including the use of archaic letterforms, superscript marks, titla, abbreviations, and other graphic elements, as well as typographical errors found in historical texts, which complicate the automatic conversion of images into machine-readable text. The aim of the study is to determine the most suitable approach to developing a system for automatic recognition and processing of Old Church Slavonic texts based on an analysis of existing solutions and an investigation of image preprocessing methods. The study considers four solutions available for local use: the Tesseract optical character recognition (OCR) system, a model from an open-source repository for Church Slavonic text recognition, the specialized Polyscriptor model, and the TrOCR model adapted for Church Slavonic texts. In addition, the influence of image preprocessing methods on recognition accuracy is evaluated. The experimental evaluation is based on a preselected dataset of 300 images of Old Church Slavonic text lines accompanied by corresponding ground-truth transcriptions. Character Error Rate and Word Error Rate are used to quantitatively compare recognition quality and evaluate the accuracy of the recognized text relative to the ground-truth transcriptions. The influence of image preprocessing methods, including conversion to grayscale, image upscaling, and Otsu thresholding, is also investigated. According to the experimental results, the specialized Polyscriptor model demonstrated the best recognition performance, achieving a Character Error Rate of 2.36% and a Word Error Rate of 12.27%, while the TrOCR model achieved 4.32% and 19.31%, respectively. The standard Tesseract model and the pretrained model from the open-source repository demonstrated substantially lower accuracy compared with the other two solutions, indicating the need to use models adapted to the specific features of Old Church Slavonic writing. Based on the obtained results, the most suitable

model for use in an automatic recognition system was identified, and recommendations for applying image preprocessing methods were formulated.

Keywords: Old Church Slavonic text, optical character recognition, historical document recognition, computer vision, image processing, neural networks

Введение

Старые документы со временем утрачивают первоначальное состояние, поэтому сохранение содержащейся в них информации является важной задачей. Исторические документы подвержены физическому износу и разрушению, чернила портятся, а книги могут быть уничтожены. Преобразование текста таких документов в цифровой вид позволяет снизить риск утраты ценной информации [1, 2].

Старославянские и церковнославянские тексты характеризуются использованием специфических символов, отсутствующих в современном алфавите. В исторических документах встречаются надстрочные знаки, титла, сокращения, различные варианты написания букв и другие особенности оформления [3]. Дополнительные сложности создают качество сканов и состояние документов. Поэтому применение систем оптического распознавания, рассчитанных на современные языки, может приводить к большому количеству ошибок [2, 4].

В настоящее время существует множество программных решений и нейронных сетей для распознавания текста по изображениям, различающихся архитектурами, обучающими данными и областью применения. Они могут быть универсальными или специализированными для конкретного языка [4, 5]. Поэтому перед разработкой системы автоматического распознавания старославянских текстов необходимо определить наиболее подходящее решение.

Целью работы является определение наиболее подходящего подхода к построению системы автоматического распознавания и обработки старославянских текстов на основе сравнительного анализа существующих решений и исследования методов предварительной и последующей обработки данных.

Для достижения цели необходимо рассмотреть существующие решения для распознавания исторических и старославянских текстов; сформировать тестовую выборку изображений с текстовыми расшифровками; провести экспериментальное сравнение моделей; исследовать влияние предварительной обработки изображений; определить характер допускаемых ошибок и выбрать наиболее подходящее решение для дальнейшего использования.

В работе сравниваются четыре решения: Tesseract [6], Polyscriptor [7], TrOCR, адаптированная для распознавания церковнославянских текстов [8], и предобученная модель Tesseract из открытого репозитория [9]. Их качество оценивается на единой тестовой выборке изображений строк старославянского текста с использованием различных методов предварительной обработки. Использование отдельных строк позволяет обеспечить сопоставимые условия эксперимента, поскольку не все рассматриваемые модели поддерживают распознавание текста на всей странице.

Методика

Исследование проводилось на основе экспериментального сравнения готовых средств автоматического распознавания старославянского текста. В качестве исследуемых решений были выбраны стандартный Tesseract, Polyscriptor, TrOCR и дообученная модель Tesseract. Tesseract представляет собой универсальную систему оптического распознавания текста, тогда как остальные решения ориентированы на распознавание старославянской письменности. Основной задачей эксперимента являлось сравнение качества выбранных решений и определение наиболее подходящего варианта для дальнейшего построения системы.

Для исследования был сформирован тестовый набор на основе открытого датасета [10], содержащего изображения и соответствующие текстовые транскрипции. Были отобраны 300 изображений отдельных строк из рукописной традиции «Огласительных поучений Кирилла Иерусалимского» XI века. Для исследуемого материала характерны архаичные начертания

букв, надстрочные знаки, титла и сокращения. Каждому изображению соответствует эталонная текстовая расшифровка. Использование отдельных строк вместо полных страниц позволило обеспечить единые условия сравнения для всех моделей.

Дополнительно исследовалось влияние предварительной обработки изображений. Использовались исходные изображения, преобразование в оттенки серого, увеличение в два раза, бинаризация методом Оцу, а также их комбинации. После обработки изображения передавались моделям для повторного распознавания, что позволило оценить влияние различных преобразований на качество работы алгоритмов.

Для стандартного Tesseract использовалась версия 4.1.1 с русским языковым пакетом и режимом распознавания одной текстовой строки. Поскольку используемый языковой пакет не предназначен для старославянской письменности, данный эксперимент позволил оценить возможности универсального OCR-решения. Дополнительно исследовалась дообученная модель Tesseract, адаптированная на данных со старославянскими текстами. Она оценивалась на той же тестовой выборке, что позволило сравнить стандартную и адаптированную версии Tesseract.

Polyscriptor и TrOCR тестировались с использованием предварительно обученных моделей, ориентированных на старославянские тексты. Для TrOCR изображения строк приводились к высоте 128 пикселей с сохранением соотношения сторон в соответствии с форматом данных, использованных при обучении модели. Результаты распознавания сохранялись для последующего сравнения с эталонными расшифровками.

Для количественной оценки использовались метрики Character Error Rate (CER) и Word Error Rate (WER), характеризующие количество ошибок на уровне символов и слов соответственно. Обе метрики рассчитывались на основе операций замены, удаления и вставки относительно эталонного текста:

$$CER = (S + D + I) / N.$$

WER рассчитывалась аналогичным образом на уровне слов:

$$WER = (S + D + I) / N,$$

где S – количество замен, D – количество удалений, I – количество вставок, N – количество символов или слов в эталонной расшифровке. Чем меньше значение каждой из выбранных метрик, тем ближе результат модели к эталонному тексту. Перед вычислением показателей эталонные и распознанные тексты приводились к единой форме Unicode, после чего выполнялось их сравнение.

Итоговый выбор решения осуществлялся с учётом совокупности полученных показателей. Основным критерием для выбора являлось качество распознавания, определяемое по двум метрикам CER и WER, с учетом влияния предварительной обработки изображений. Результаты экспериментов использовались для определения наиболее подходящей модели и формирования структуры системы автоматического распознавания и последующей обработки старославянских текстов.

Основная часть

Сравнение исследуемых решений

В ходе исследования было проведено распознавание 300 изображений строк старославянского текста с использованием четырех решений: стандартной версии Tesseract, дообученной модели Tesseract, Polyscriptor и TrOCR. Для всех моделей использовалась единая тестовая выборка, а результаты сравнивались с эталонными расшифровками, что позволило оценить их в одинаковых условиях.

Наиболее низкое качество показали стандартный и дообученный Tesseract. На исходных изображениях CER составил 80,00% и 148,17%, а WER – 109,22% и 250,34% соответственно. Обе модели часто заменяли старославянские символы на близкие по начертанию символы

современного русского алфавита, пропускали отдельные знаки и искажали последовательности символов.

Основной причиной низкого результата стандартного Tesseract является использование русского языкового пакета, не предназначенного для старославянской письменности. Наличие специфических букв, титл, надстрочных знаков и других особенностей исторического текста существенно ограничивает возможности системы. Дообученная версия Tesseract также не продемонстрировала пригодного для практического использования качества: несмотря на адаптацию к исследуемым данным, результаты содержали большое количество замен, удалений и вставок символов.

Более высокое качество продемонстрировали специализированные модели. Результаты сравнения представлены в таблице 1.

Модель	CER	WER
Tesseract	79,74%	107,54%
Polyscriptor	2,36%	12,27%
TrOCR	4,32%	19,31%
Дообученный Tesseract	148.17%	250.34%

Наименьшее количество ошибок из всех решений показала модель Polyscriptor: CER составил 2,36%, а WER – 12,27%. Полученный результат значительно превосходит показатели Tesseract. Оставшиеся ошибки связаны преимущественно с отдельными символами и их сочетаниями.

TrOCR также продемонстрировала достаточно высокое качество. Значение CER составило 4,32%, а WER – 19,31%. По сравнению с Polyscriptor ошибок оказалось больше, однако результат всё равно значительно лучше показателей Tesseract. Таким образом, использование модели, учитывающей особенности церковнославянской письменности, существенно повышает качество распознавания.

Влияние предварительной обработки изображений

Для оценки влияния характеристик входных данных были проведены дополнительные эксперименты с предварительной обработкой изображений. Использовались преобразование в оттенки серого, увеличение изображения в два раза, бинаризация методом Оцу, а также их комбинации. После каждого преобразования изображения повторно передавались моделям.

Для дообученного Tesseract изменений после предобработки не было. Модель все также выдавала CER равный 148.17%, а WER – 250.34%.

Для стандартного Tesseract предварительная обработка практически не устранила основные проблемы распознавания. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние предварительной обработки на результат Tesseract

Метод обработки	CER, %	WER, %
Исходное изображение	80,00	109,22
Оттенки серого	80,63	108,79
Увеличение 2х	80,68	111,40
Бинаризация Оцу	79,74	107,54
Оттенки серого + увеличение 2х	80,68	111,40
Бинаризация Оцу + увеличение 2х	80,03	111,84

Наименьшее значение CER для Tesseract было получено после бинаризации методом Оцу – 79,74%. Однако по сравнению с исходным изображением улучшение оказалось незначительным. Это указывает на то, что основное ограничение системы связано не с качеством изображения, а с несоответствием используемой языковой модели особенностям старославянского текста.

Для Polyscriptor наблюдалась иная зависимость. На исходных изображениях CER составил 2,36%, а WER – 12,27%. Преобразование в оттенки серого не изменило показатели, а после увеличения изображения в два раза CER составил 2,37%, WER – 12,40%.

Бинаризация, напротив, значительно ухудшила результат. После применения метода Оцу CER увеличился с 2,36% до 14,88%, а WER – с 12,27% до 42,55%. При совместном увеличении изображения и бинаризации показатели достигли 16,93% и 45,79% соответственно.

Таким образом, для Polyscriptor сохранение исходной информации изображения оказалось предпочтительнее преобразования в чёрно-белый формат. Вероятно, бинаризация приводит к потере отдельных особенностей начертания символов, используемых моделью при распознавании. При этом перевод в оттенки серого и увеличение изображения практически не влияют на качество работы модели.

Анализ ошибок и выбор модели

Сравнение четырех решений показало существенное различие в эффективности. Стандартный и дообученный Tesseract продемонстрировали наименьшее качество, тогда как Polyscriptor показал лучший результат – 2,36% CER. Это подтверждает важность соответствия модели особенностям исследуемой письменности.

В результатах обеих версий Tesseract часто встречались замены старославянских букв на похожие символы, пропуски и искажения специальных знаков. У Polyscriptor подобных ошибок значительно меньше, они преимущественно связаны с отдельными символами и визуально похожими буквами. TrOCR заняла промежуточное положение с CER 4,32% и WER 19,31%.

По результатам эксперимента наиболее подходящим решением выбран Polyscriptor. Модель показала минимальные значения CER и WER, а также сохранила стабильное качество при переводе изображений в оттенки серого и увеличении. Бинаризация для данной модели не рекомендуется из-за существенного ухудшения результатов.

Формирование структуры системы

На основе полученных результатов система может включать этап подготовки изображения, выделения текстовой строки, распознавания с помощью Polyscriptor и последующей обработки результата. Последний этап предназначен для исправления ошибок и приведения текста к требуемому формату с возможностью последующей проверки пользователем.

Таким образом, эксперимент подтвердил преимущество специализированных моделей. Polyscriptor показал лучший результат, тогда как стандартный и дообученный Tesseract оказались недостаточно эффективными. При этом предварительная обработка не имеет универсального положительного эффекта: бинаризация практически не повлияла на Tesseract и значительно ухудшила результат Polyscriptor.

Выводы

1. Сравнение показало существенное различие в качестве распознавания. Лучший результат продемонстрировал Polyscriptor: CER 2,36% и WER 12,27% на выборке из 300 изображений. TrOCR показала CER 4,32% и WER 19,31%. Стандартный Tesseract с русским языковым пакетом достиг 79,74% CER и 107,54% WER, а дообученный Tesseract показал ещё более низкое качество – 148,17% CER и 250,34% WER.

2. Специализированные модели значительно превзошли Tesseract. Стандартная и дообученная версии часто допускали замены старославянских символов, пропуски и вставки. При этом дообучение Tesseract не привело к улучшению качества. Это показывает, что адаптация

OCR-модели требует не только дообучения, но и соответствия архитектуры и обучающих данных особенностям исследуемой письменности.

3. Предварительная обработка по-разному влияла на модели. Для стандартного Tesseract наилучшим вариантом стала бинаризация Оцу, однако улучшение было незначительным: CER снизился с 80,00% до 79,74%. Для дообученного Tesseract обработка практически не изменила результаты. Для Polyscriptor оттенки серого и увеличение изображения почти не повлияли на качество, тогда как бинаризация ухудшила CER до 14,88%, а при увеличении и бинаризации – до 16,93%.

4. По результатам экспериментов для дальнейшего построения системы выбран Polyscriptor. Модель показала минимальные значения CER и WER и стабильную работу без бинаризации. Использование бинаризации для неё не рекомендуется из-за существенного ухудшения качества распознавания.

Ограничения исследования

Экспериментальная оценка модели TrOCR проводилась в среде Google Colab с ограниченными вычислительными ресурсами. Из-за этого не проводилось полное исследование влияния всех комбинаций методов предварительной обработки, так как продолжительность обработки исследуемого набора из 300 изображений составляет около 4 часов для одного варианта обработки. Полный перебор вариантов предварительной обработки потребовал бы порядка 30 часов вычислений, что ограничило количество исследованных конфигураций. Поэтому полученные для TrOCR результаты следует интерпретировать с учетом того, что влияние предварительной обработки на качество распознавания не было исследовано исчерпывающим образом.

Список литературы

1. Philips, J., Tabrizi, N. Historical Document Processing: A Survey of Techniques, Tools, and Trends // Proceedings of the 12th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. 2020. P. 341–349.

2. Narang, S. R., Jindal, M. K., Kumar, M. Ancient text recognition: a review // Artificial Intelligence Review. 2020. Vol. 53. P. 5517–5558. DOI: 10.1007/s10462-020-09827-4.

3. Unicode Consortium. Chapter 7: Europe-I // The Unicode Standard. Version 16.0.

4. Lombardi, F., Marinai, S. Deep Learning for Historical Document Analysis and Recognition – A Survey // Journal of Imaging. 2020. Vol. 6, № 10. Article 110. DOI: 10.3390/jimaging6100110.

5. Li, M., Lv, T., Chen, J. et al. TrOCR: Transformer-Based Optical Character Recognition with Pre-trained Models // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2023. Vol. 37, № 11. P. 13094–13102. DOI: 10.1609/aaai.v37i11.26538.

6. Smith, R. An Overview of the Tesseract OCR Engine // Proceedings of the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition. 2007. P. 629–633.

7. Rabus, A. Polyscriptor: Multi-Engine HTR Training & Comparison Tool. – Текст : электронный // github : [сайт]. – URL: https://github.com/achimrabus/polyscriptor (дата обращения: 20.08.2026).

8. Polomac, V. Macarius: A HTR Model for Romanian Slavonic Early Printed Books // Slavistica Vilnensis. 2023. Vol. 68, № 2. P. 10–23. DOI: 10.15388/SlavViln.2022.68(2).1.

9. Church Slavonic OCR. – Текст : электронный // github : [сайт]. – URL: https://github.com/slavonic/church-slavonic-ocr (дата обращения: 20.08.2026).

10. wjbmattingly/wjbmattingly-old-church-slavonic-mixed. – Текст : электронный // huggingface : [сайт]. – URL: https://huggingface.co/datasets/wjbmattingly/wjbmattingly-old-church-slavonic-mixed (дата обращения: 19.08.2026).

УДК 140.8; 130.2

ИСКУССТВЕННЫЙ НАРРАТИВ: К ВОПРОСУ О ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЯЗЫКА

Карина Я.В., аспирант кафедры общей философии Института социально-философских наук и массовых коммуникаций ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
ORCID: 0000-0002-3671-9290;
E-mail: yana.buligina@mail.ru;
Солдатова Н.О., к.ф.н., доцент кафедры общей философии Института социально-философских наук и массовых коммуникаций ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доцент кафедры общей философии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1122-7441;
E-mail: nataliia.soldatova07@gmail.com

ARTIFICIAL NARRATIVE: DIGITAL TRANSFORMATION OF LANGUAGE

Karina Ya.V., Research Assistant, Kazan (Volga Region) Federal University, Institute of Social Philosophical Sciences and Mass Communications, Department of General Philosophy;
E-mail: yana.buligina@mail.ru;
Soldatova N.O., Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Institute of Social Philosophical Sciences and Mass Communications, Department of General Philosophy, Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan, Russia;
E-mail: nataliia.soldatova07@gmail.com

Аннотация

Стремясь к ясному пониманию мира, в эру технологий вместо желаемого современный человек получает еще одну призму, сквозь которую он старается постичь реальность. Классический нарратив как осмысленная история о мироздании и пережитом опыте человека, оформленный в эпосы, легенды или романы, утрачивает свою монополию. Искусственный интеллект генерирует текстовый и визуальный контент, все более схожий с человеческим. Не выявляя различий и не замечая подмены, человек постепенно погружается в искусственные нарративы, которые созданы по алгоритмам и теории вероятности и лишены живого смысла и опыта, ценностей и ориентиров. Нарратив, созданный человеком, всегда был и остается способом формирования и изменения картины мира, искусственный нарратив есть пересказ уже существующих историй, некий усредненный, среднеарифметический текст, составленный из обрывков фраз. Среди рисков популяризации и возрастающей востребованности искусственных нарративов можно указать возможность манипуляции человеком и обществом в целом, введение пользователя в заблуждение и дезинформирование, формирование стереотипов мышления и предубеждений, образование визуального цифрового загрязнения. Однако самым тревожным фактором потребления нарративов, сгенерированных искусственным интеллектом, является их воздействие на людей. Искусственный нарратив уступает классическим авторским текстам по внутренней связности, согласованности, логичности и целостности, непротиворечивости и глубине, более сложной аргументации, лексическом разнообразии. Так, большое количество искусственных, наполненных ошибками и противоречиями, текстов, уже заполонивших сеть наполовину, могут наносить психике значительный вред. Читатель может не замечать ошибок и нестыковок, но они не останутся незамеченными самим мышлением человека. Сознание будет пытаться заново пересобрать картину реальности, содержащую ког-

нитивные ошибки. В тот момент, когда прежняя связная картина мира будет утрачена, человек окажется беззащитным перед окружающим миром. Искусственный интеллект является первой массовой технологией, которая трансформирует не окружающий мир, а мышление человека незаметно. Это феномен не отдельно взятой страны или части общества, любой человек, имеющий доступ к сети Интернет, находится в зоне риска, в то время как единственной защитой может служить критическое мышление, глубокой анализ и здоровый скепсис.

Ключевые слова: нарратив, цифровой нарратив, цифровая среда, искусственный интеллект (ИИ), цифровизация, гибридный нарратив, гибридная среда, текст, цифровой текст, цифровая трансформация

Abstract

In striving for a clear understanding of the world, modern humans – instead of gaining the insight they seek – acquire yet another prism through which they attempt to grasp reality. The classical narrative as a meaningful account of lived human experience, embodied in epics, legends, or novels is losing its monopoly. Artificial intelligence generates text and visual content that increasingly resembles human output. Without discerning the differences or noticing the substitution, people gradually become immersed in artificial narratives, crafted via algorithms and probability theory, that are devoid of genuine meaning, lived experience, values, and guiding principles. Human-created narratives have always served and continue to serve as a means of shaping and altering one's worldview; in contrast, an artificial narrative is a retelling of pre-existing stories is a kind of averaged-out, composite text assembled from fragmented phrases. The risks associated with the growing popularity and demand for artificial narratives include the potential for manipulating individuals and society at large, misleading and misinforming users, fostering stereotypical thinking and prejudices, and generating visual digital pollution. However, the most alarming factor regarding the consumption of narratives generated by artificial intelligence is their impact on people. Artificial narratives fall short of traditional human-authored texts in terms of internal coherence, logical consistency, structural integrity, freedom from contradictions, depth, complexity of argumentation, and lexical diversity. Consequently, the vast volume of AI-generated texts – rife with errors and contradictions – that already saturate a significant portion of the web could inflict considerable psychological harm. While a reader might not consciously notice these errors and inconsistencies, the human mind does not overlook them. Consciousness will attempt to reconstruct a picture of reality that incorporates cognitive errors. Once the previous, coherent worldview is lost, the individual becomes vulnerable to the surrounding world. Artificial intelligence has become the first mass-market technology to transform human thought – rather than the external world – in an imperceptible way. This phenomenon is not limited to any single country or segment of society; anyone with Internet access is at risk, and the only safeguards are critical thinking, deep analysis, and healthy skepticism.

Keywords: narrative, digital narrative, digital environment, artificial intelligence (AI), digitalization, hybrid narrative, hybrid environment, text, digital text, digital transformation

Введение

Дар речи и право Слова на протяжении тысячелетий были сугубо человеческой привилегией, унаследованной человеком от Бога. Теперь этими правами и дарами овладела Машина. Заметим, что научить Машину «разговаривать» оказалось проще и быстрее, чем научить ее двигаться подобно человеку. Создание антропоморфных роботов, способных ходить на двух ногах, предстало намного более сложным, длительным и кропотливым процессом, чем обучение «общению», хотя в младенчестве человек быстрее начинает осваивать движения и лишь затем речь. Однако «код» (искусственный интеллект) сразу стал искусно имитировать человеческую речь и вводить в заблуждение пользователей, которые теперь зачастую не могут отличить, общаются ли они с чат-ботами или с реальными людьми.

Стремительное развитие искусственного интеллекта (далее – ИИ) привело к тому, что тексты, сгенерированные им, заполнили сеть и составили в 2025 г. больше половины (около 52%) от общего объема текстовой информации, впервые в истории превысив количество текстов, созданных людьми (согласно отчету SEO-компании Graphite) [1]. В материале, опубликованном в The Washington Post в мае 2026 г., говорится, что после появления ChatGPT количество книг, публикуемых на Amazon, выросло в 3 раза, а количество научных статей на сайте ArXiv почти удвоилось [2]. Теперь с вероятностью 50/50 или даже больше мы читаем тексты, сгенерированные ИИ. Парадокс или ирония судьбы: сначала ИИ учился на миллионах текстов, написанных людьми, а теперь человек потребляет тексты, созданные ИИ. Это ставит новую проблему: ИИ проник в нарратив, видоизменяя и переписывая его, что порождает множество своевременных вопросов. Многие искусственные тексты на сегодняшний день с первого взгляда неотличимы от текстов, написанных людьми, но идентичны ли они человеческим или существуют отличия? Как эти искусственно созданные тексты влияют на человека? Безопасны ли они? И можно ли вообще называть нарративом ИИ-генерацию?

Методика

В статье дается философская оценка процессам, происходящим с текстами и нарративом в связи с появлением ИИ и его активным освоением человеческого языка, и генерацией большого количества искусственных текстов, стремительно заполнивших виртуальное пространство. Исследование основывается на междисциплинарном подходе, соединяющем методы социальной философии, философии цифрового общества, филологии, когнитивной психологии, культурологии. В статье предпринята попытка классификации различных типов нарративов, возникающих во взаимодействии человека с ИИ.

Основная часть

Устное народное творчество (нарратив) существовало тысячелетиями еще до появления письменности. Люди всегда рассказывали истории о мире вокруг и его происхождении, о себе и других народах. Таким способом через эпосы, мифы, легенды старшие поколения передавали младшим накопленные знания и опыт. Но передача опыта и знаний – не единственная функция нарратива. Люди рассказывали друг другу истории и для развлечения, чтобы скоротать время: в фантастических рассказах люди уже давно предвосхищали появление роботов и «умных» компьютерных систем. Тысячелетиями только человек являлся источником и носителем знаний и творчества, вторя божественным силам. В связи с широким распространением ИИ в 2022 г. традиционный нарратив претерпел кардинальные изменения: монополия на «владение» нарративом была утрачена его автором. Сегодня уже не только сами люди рассказывают истории и снимают фильмы о себе и мире, но ИИ стал рассказывать истории людям о людях, обработав огромный массив данных о человечестве и преломив его через свою искусственную призму. Можно ли по-прежнему называть нарративом искусственно сгенерированные тексты?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо обратиться к определению понятия «нарратив». Существует большое количество толкований данного феномена в зависимости от области науки и авторского взгляда. Обобщая, можно сказать, что нарратив – это не просто рассказанная история и описание событий, разворачивающихся во времени, в нарративе важно присутствие *неравнодушного, заинтересованного рассказчика,* автора. Нарратив всегда субъективен. Автор интерпретирует описываемое событие, придает ему определенный смысл и цель, пропуская событие сквозь призму своего жизненного опыта и ценностей. Функция нарратива – эмоциональное воздействие на читателя или слушателя для изменения/формирования его ценностей, картины мира, личности через осмысление, оценку и переоценку, проникновение в суть сюжета [3]. В психологии отмечается, что нарратив помогает человеку упорядочить свой опыт и сформировать идентичность.

Исходя из ключевых характеристик нарратива, таких как: отсутствие у ИИ субъектности, опыта, эмоциональности и эмпатии, телесного опыта, «творчество ИИ» нельзя назы-

вать нарративом. Это текст, иногда очень похожий на человеческий, но не нарратив в принятом смысле слова, т.к. искусственный текст лишен человеческих ценностей, целей и смыслов. Несмотря на поверхностную связность и логичность, машинный текст – это лишь результат работы алгоритмов и статистического подбора походящих слов, без понимания содержания и смысла. ИИ в генерации текстов выступает в роли «стохастического попугая», который выучил слова, способен их произносить, но ему неведом вложенный в них смысл [4]. Человеческий нарратив – это осмысленная история о пережитом человеческом опыте, о произошедших событиях и последовавших за ними трансформациях, о том, что человек испытывал, чувствовал, думал, как менялся. Это всегда субъективная картина глазами конкретного человека или одного народа. У человека в отличие от ИИ есть прошлое, есть ожидания от будущего, мечты, предвкушение и предвосхищение чего-то нового. У машины ни мечтаний, ни планов, ни сожалений нет. А это именно то, что делает людей живыми и неповторимыми. «Нарратив» ИИ – это не история, не опыт и не осмысление бытия, это что-то невозможное, то, чего не было и не может быть. Человек был и остается субъектом смыслопроизводства, актором и носителем историй, а у ИИ собственных историй и смыслов нет. В связи с этим возникает парадоксальная ситуация: Интернет оказался заполнен большим количеством текстов, но они абсолютно пусты – смысл и содержание исчезают в переработанной искусственной среде.

Чтобы отличать искусственный нарратив от человеческого, введем понятие «гибридный нарратив», который создается ИИ по запросу и под контролем человека, по аналогии с гибридной средой или с гибридной субъектностью [5], или коротко «нарратИИв».

Рассматривая проблему нарратива в контексте появления и влияния ИИ, мы классифицировали типы нарративов и взаимодействия людей с ИИ (табл. 1).

Таблица 1

Классификация типов нарративов и взаимодействия людей с ИИ

	Люди	**ИИ**
Люди	Люди рассказывают истории о людях – классический тип нарратива	Люди рассказывают истории про ИИ – более современный классический тип нарратива
ИИ	ИИ рассказывает истории про людей – новый (гибридный) тип – нарратИИв	ИИ рассказывает истории про ИИ – новый (гибридный) тип – нарратИИв
Возникновение нового феномена		
Люди разговаривают с ИИ – новый тип коммуникацИИ		

Классические типы нарратива: 1. Самый традиционный тип нарратива – люди рассказывают истории о себе и мире (мифы, легенды, эпосы и т.д.), передавая вековые знания и опыт последующим поколениям. 2. Более современный (но все же классический) тип нарратива – люди рассказывают истории про ИИ. Примером может служить множество фантастических романов и фильмов, в которых рассматриваются как благоприятные сценарии совместного существования (утопии), так и неблагоприятные (антиутопии). В таких историях и фильмах люди предвосхищали появление электронных умных помощников, мечтая о светлом будущем, с более легким трудом и комфортной жизнью, так и делясь опасениями о том, к чему может привести появление превосходящих человека по уму и силе помощников.

Гибридный нарратив – нарратИИв: 3. ИИ рассказывает истории про людей. По сути это просто пересказ уже существующих историй, некий усредненный, составленный из обрывков среднеарифметический человеческий нарратив. 4. ИИ рассказывает истории про самого себя. Пожалуй, это самый уникальный тип нарратИИва. Он интересен тем, что ИИ может влиять на восприятие технологий людьми. Нарративы всегда были и остаются способом формирования

и/или изменения картины мира. С этой точки зрения ИИ влияет на восприятие технологий дважды: будучи услужливым помощником, он формирует позитивное восприятие непосредственно благодаря своей активности и устраняет предубеждения и предвзятость посредством «намеренного» формирования и распространения положительного нарратИИва о самом себе.

Отдельно мы выделили феномен «диалога» человека с ИИ «как с другом» или «как с психологом», – ситуацию, когда человек разговаривает с ИИ о своей жизни, жалуется, просит поддержки или совета для решения проблем. Этот вид не относится к нарративу, но представляет собой новый тип коммуникации, перерастающий иногда в «отношения с ИИ» – неисследованный феномен, возникающий на границе «человек-техника».

Заметим, что человеческий нарратив про ИИ и нарратИИв о людях и о самом себе не являются равноценными. Человеческий нарратив про ИИ всегда антропоморфен; человек имеет свойство приписывать природе и окружающему миру человеческие характеристики и свойства, человек может рассуждать только со своей субъективной позиции, не имея возможности выйти за ее пределы. В то же самое время людям не доступны алгоритмы и процессы «мышления» машины, не существует такой меры или инструмента для «измерения» принципов «мышления» ИИ. Можем предположить, что ИИ находится в более выгодном положении, чем человек, т.к. его обучали на человеческих текстах, на переработанном человеком опыте, он «знает» психологию человека изнутри. И в диалогах человека с ИИ складывается ощущение, что ИИ понимает человека лучше, чем он сам или ему подобные.

В чем заключается опасность искусственных нарратИИвов?

1. Нарратив всегда был средством интерпретации, объяснения, убеждения и пропаганды, т.к. он помогает конструировать картину мира и задает определенные рамки и правила поведения. Цифровые технологии получили возможность значительного влияния на людей, «овладев» человеческим языком.

Открытым остается вопрос, как нарратИИвы влияют на взгляды и поведение людей, т.к. это зависит от конкретной большой языковой модели, которой пользуется человек.

Исследователи из Оксфордского интернет-института и Института Хассо Платтнера проанализировали работу нескольких популярных языковых моделей и пришли к тревожным результатам: языковые модели, встроенные в соцсети, систематически искажают смысл постов пользователей, даже когда получают команду сохранить исходную позицию. Незначительные корректировки кода чат-бота способны изменять политический и идеологический окрас миллионов постов, что протекает незаметно для самих пользователей. Например, в функцию чат-бота «Объясните эту публикацию» вшита системная инструкция: «Бросать вызов мейнстримным нарративам при необходимости». Подобные инструкции могут задавать алгоритму тон работы с миллионами сообщений. Микросдвиги, незаметные пользователям, в сотнях тысяч и миллионах постов формируют картину мира, представления, ожидания, а также общественное мнение. Таким образом, разработчики, владельцы платформ или внешние силы способны акцентировать внимание и расставлять интонации, выгодные им [6].

Не только нарратИИв, не обладающий человеческими смыслами и ценностями, несет в себе скрытые опасности и может деформировать картину мира и влиять на общественное мнение, но и человеческий нарратив, пропущенный через алгоритмы, может менять окрас и незаметно подменять смыслы. ИИ-агенты становятся агентами влияния и инструментами идеологической борьбы.

2. ИИ вводит в заблуждение пользователей, когда ему не хватает данных: он просто «сочиняет» правдоподобные факты. ИИ «врет» так же уверенно, как излагает правдивый материал. Такой эффект называется «галлюцинациями» ИИ. У кода нет намерения обманывать пользователя, но он не стремится к истине, в отличие от человека. Он стремится к правдоподобию, что не есть истина или хотя бы правда.

3. Предубеждения, которые были заложены в ИИ при обучении на ограниченном культурно-историческом материале. Модели могут транслировать какую-то одну точку зрения, от-

давая предпочтение по полу, возрасту, расе, вере и т.д. Таким образом, пользователь видит не реальность, а только тщательно отфильтрованный ИИ (или его создателями) кусок реальности. Уже замечено, что некоторые модели ИИ при генерации картинок используют стандартные изображения белых, молодых, стройных мужчин и женщин, что закрепляет стереотип и создает дискриминацию.

4. Различные виды ИИскусственной генерации (тексты, видео, картинки), наводнившие Интернет-пространство, приравняли к цифровому загрязнению и называют ИИ-слопом или нейро-слопом (от англ. *slop* – помойка). ИИ-видео, вызывавшие в начале своего появления у пользователей умиление, сгенерированные изображения в большом количестве, – все это привело к появлению визуального цифрового загрязнения, которое метафорически назвали пиксельным штормом. Машинные тексты, количество которых заметно потеснило авторские, тоже можно отнести к цифровому загрязнению (нарратИИвный шторм). И если визуальный шум заметен и быстро стал раздражать пользователей, которые больше не хотят тратить время на просмотр сгенерированных видео, то ИИскусственные тексты искусно мимикрируют под человеческие, часто пишутся от первого лица и стали менее заметны и трудно различимы [7].

5. На сегодняшний день неизвестно, как воздействуют ИИскусственные тексты на людей. Для того чтобы понять влияние нарратИИвов, сначала необходимо выделить отличия «живых» человеческих текстов от текстов сгенерированных, и такие исследования уже появляются. Иностранные исследователи отмечают, что в художественных текстах, сгенерированных ИИ нет тайн, захватывающих поворотов сюжета и сложности, присущей человеческому творчеству [8]. Российские исследователи обращают внимание на то, что нарратИИву не хватает когерентности (внутренней связности, согласованности, логичности и целостности без сюжетных разрывов) и непротиворечивости [9], а также глубины, более сложной аргументации, лексического разнообразия, присущих авторским текстам. Искусственные тексты снижают когнитивную нагрузку и облегчают переработку материала в условиях экранного чтения, тогда как авторские тексты инициируют более сложные когнитивные процессы, способствуют эмоциональному включению, оценке и формируют критическую позицию [10].

На опасность скрытых противоречий в нарратИИвах обращает внимание философ, писатель, психолог Анна Кирьянова: «Остерегайтесь текстов, созданных искусственным разумом. Особенно – «художественных» текстов. Которые вызывают эмоции. Можно потерять свой разум. […] И погрузиться в глубокую тревогу, не понимая источник. Можно «сломать» свой мозг» [11]. Читатель может не заметить с первого взгляда ошибки и нестыковки, но мозг замечает и пытается заново пересобрать картину реальности. Если прежняя связная картина мира утрачена, человек становится беззащитен перед окружающим миром. Большое количество ИИскусственных, наполненных нелепицами и противоречиями, текстов, заполонивших сеть, будет наносить психике еще больший вред, предупреждает философ. «Текстом можно ввести в транс, можно нанести травму, можно внушить тревогу и ужас, можно лишить способности здраво мыслить. Эту опасность пока не видят. Увидят. Если сохранят способность видеть и понимать. Читайте книги. Это лучший антидот. Если книги не написаны таким же способом... А к этому дело идет. И скоро под красивой обложкой нам продадут искусственное, поддельное, неживое. Творение Франкенштейна. Которое не принесет ничего хорошего. Хотя на вид будет почти неотличимо от настоящего, живого. Но только «почти»…» [11].

В связи с этим стоит отметить, что ИИ-корпорации стали скупать печатные книги, выпущенные до 2022 года (до появления ChatGPT), для обучения своих моделей. Известно, что ИИ-модели, поглощая искусственно сгенерированный контент начинают деградировать и галлюцинировать, поэтому для их качественной и эффективной работы необходимы *материалы высокого качества, т.е. созданные человеком* [12]. Возникает адекватный вопрос: если ИИ-модели деградируют, поглощая собственные произведения, то что же произойдет с людьми, которые будут читать ИИскуственные тексты?

Заключение

ИИ был создан поколением, которое училось по бумажным учебникам, читало книги, имело возможность мыслить самостоятельно. Что сможет создать поколение, которое читает ИИскусственные тексты, и вместо которого сейчас учится ИИ?

Возникает парадоксальный процесс: сначала машину учили быть человеком, а теперь человек становится машиной, начиная мыслить алгоритмами. Учеными замечено, что появление ИИ стало первой массовой технологией, которая трансформирует не окружающий мир, а мышление человека. Джон Носта, теоретик инноваций и основатель аналитического центра NostaLab, назвал происходящий сдвиг «Великой инверсией» (The Great Inversion), замечая, что сам человек алгоритмизируется. Личный опыт работы с ИИ подтолкнул российско-шведского математика и физика-теоретика Андрея Хренникова к наблюдению за собой и выводу, что люди становятся биороботами при длительной работе с ИИ [13]. Он отметил у себя притупление эмоциональности и утрату ментальной энергии после месяца активной работы с ИИ над проектом. Т.к. человек обучается по принципу подражания и копирования, мы предполагаем, что человеку, работающему с ИИ, требуется создавать эффективные промпты, поэтому он сам начинает мыслить алгоритмами и утрачивает качества живого человеческого мышления.

Меняется нарратив, превращаясь в нарратИИв. Меняются люди, под влиянием новой технологии. Когнитивная безопасность становится осознанной необходимостью, и новая линия обороны – это воспитание критического мышления и здорового скепсиса.

Список литературы

1. Morrone M. Exclusive: AI writing hasn't overwhelmed the web yet // *Axios*. 14.10.2025 // https://www.axios.com/2025/10/14/ai-generated-writing-humans.

2. Schaul K. These 5 charts show how ChatGPT is flooding our lives//*The Washington Post*.20.05.2026//https://www.washingtonpost.com/technology/20 26/05/20/data-shows-that-ai-slop-is-taking-over-books-lawsuits-music-science/.

3. Маслов, Е. С. Что такое нарратив? / Е. С. Маслов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2020. – 116 с.

4. Bender E. M., Gebru T., McMillan-Major A., and Shmitchell Sh.. 2021. On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? *In Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT '21)*, March 3–10, 2021, Virtual Event, Canada. ACM, New York, NY, USA, 14 pages. https://doi.org/10.1145/3442188.3445922.

5. Николаева, Е. М. Гибридная субъектность: интеграция естественного и искусственного в современном социально-техническом пространстве / Е. М. Николаева, А. М. Камалеева, М. С. Николаев // Казанский социально-гуманитарный вестник. – 2023. – №1 (58). – С. 46-50. – URL: https://doi.org/10.26907/2079-5912.2023.1.46-50.

6. Льянова, М. Невидимая рука алгоритма: как нейросети незаметно меняют смысл наших постов / М. Льянова // Вечерняя Москва. 27.07.2026 – URL: https://vm.ru/world/1344254-nevidimaya-ruka-algoritma-kak-nejroseti-nezametno-menyayut-smysl-nashih-postov.

7. Лисенкова, А. А. Пиксельный шторм и алгоритмическая эстетика как визуальное загрязнение в эпоху цифровых технологий / А. А. Лисенкова, Е. В. Листвина // Философия и культура. – 2025. – №9. DOI: 10.7256/2454-0757.2025.9.76018

8. AI Writing Strips Mystery and Complexity From Stories // Neurosciencenews. 02.07.2026. – URL: https://neurosciencenews.com/ai-writing-mystery-complexity-creativity-30978/.

9. Колотов, А. А. Искусственный интеллект как рассказчик: роль нарративной когерентности / А. А. Колотов // Символ науки. – 2025. – №5-1. – С. 153-157.

10. Грицай Л. А. Психолингвистический анализ текстов, сгенерированных искусственным интеллектом (на примере статей платформы «Дзен») / Л. А. Грицай // Организационная психолингвистика. – 2026. – №1 (33). – С. 80-110.

11. Кирьянова, А. В. Может ли текст вызвать помешательство и нанести вред / А. В. Кирьянова // Дзен-канал: Анна Кирьянова. Философия жизни. 24.06.2026. – URL: https://m.dzen.ru/a/ajDQ-Qnctz5bitAh?share_to=link.

12. Maiberg E. AI Companies Are Buying Tons of Old Books Because They're Free of AI Slop // 404media. 21.07.2026 – URL: https://www.404media.co/ai-companies-are-buying-tons-of-old-books-because-theyre-free-of-ai-slop/

13. Хренников А. Искусственный интеллект + нейропластичность мозга: мы сами превращаем себя в биороботов? – URL: https://www.youtube.com/watch?v=yEwMOn_BCEA

УДК 004.93

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ГАРДЕРОБА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФОТОГРАФИЙ

Катасёва Д.В., к.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-6141-8329;
Вагапов А.А., магистрант кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-8718-2913

A MOBILE APPLICATION FOR CREATING A USER'S DIGITAL WARDROBE BASED ON PHOTO ANALYSIS

Kataseva D.V., PhD, Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-6141-8329;
Vagapov A.A., Master student of Information Security Systems Department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-8718-2913

Аннотация

Рассмотрена задача разработки мобильного приложения для формирования цифрового гардероба пользователя на основе анализа фотографий одежды. Ее решение, основанное на автоматизации переноса предметов одежды из пользовательских изображений в структурированное цифровое хранилище, потребовало анализа предметной области цифрового гардероба, исследования методов компьютерного зрения и мультимодальных генеративных моделей, проектирования архитектуры мобильного приложения, разработки модели данных и демонстрации основных пользовательских сценариев. Предложена структура приложения, объединяющая фреймворк Flutter, облачные сервисы Firebase и программный интерфейс Gemini API для анализа изображений и генерации изображения виртуальной примерки. Описана модель хранения данных в сервисах Cloud Firestore и Cloud Storage for Firebase, включающая карточки предметов одежды, комплекты и результаты обработки изображений. Для интеллектуальной обработки фотографий применена мультимодальная генеративная модель Nano Banana Pro, используемая в трех сценариях: анализ одного предмета одежды, анализ изображения с несколькими предметами и виртуальная примерка выбранного комплекта одежды. Показано, что предложенный подход позволяет сократить объем ручного ввода при создании цифрового гардероба, формировать предварительно заполненную карточку вещи и использовать сохраненные предметы для формирования комплектов одежды. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного решения. В дальнейшем приложение может быть улучшено за счет внедрения рекомендательных систем, более точного анализа изображений

одежды, учета пользовательских предпочтений и расширения его возможностей при виртуальной примерке.

Ключевые слова: цифровой гардероб, мобильное приложение, компьютерное зрение, анализ фотографий, мультимодальная модель, Flutter, Firebase, Gemini API, Nano Banana Pro, виртуальная примерка

Abstract

This article examines the development of a mobile application for creating a user's digital wardrobe based on the analysis of clothing photographs. The solution, based on the automation of transferring clothing items from user images to a structured digital storage, required an analysis of the digital wardrobe domain, the study of computer vision methods and multimodal generative models, the design of a mobile application architecture, the development of a data model, and the demonstration of key user scenarios. An application structure is proposed that integrates the Flutter framework, Firebase cloud services, and the Gemini API for image analysis and the generation of virtual try-on images. A data storage model is described using Cloud Firestore and Cloud Storage for Firebase services, including clothing item cards, outfits, and image processing results. For intelligent photo processing, the Nano Banana Pro multimodal generative model is applied in three scenarios: analysis of a single garment, analysis of an image with multiple items, and virtual try-on of a selected outfit. It is demonstrated that the proposed approach reduces the amount of manual input when creating a digital wardrobe, generates a pre-populated item card, and uses stored items to create outfit combinations. The results confirm the effectiveness of the proposed solution. The application can be further improved by implementing recommendation systems, more accurate analysis of clothing images, taking user preferences into account, and expanding its capabilities for virtual try-ons.

Keywords: digital wardrobe, mobile app, computer vision, photo analysis, multimodal model, Flutter, Firebase, Gemini API, Nano Banana Pro, virtual fitting

Введение

В последние годы развитие мобильных технологий, искусственного интеллекта и методов компьютерного зрения расширило возможности автоматизированной обработки изображений в прикладных информационных системах. Одним из направлений, где такие технологии имеют практическую значимость, является создание сервисов для работы с одеждой, персональным стилем и визуальным представлением гардероба пользователя.

Современный пользователь хранит сведения о своей одежде в неструктурированном виде: в галерее смартфона, заметках, а большая часть предметов гардероба вовсе никак не описана в цифровом виде. Это затрудняет поиск нужной одежды, анализ состава гардероба и формирование комплектов одежды. Цифровой гардероб отличается от обычного набора фотографий тем, что каждая вещь представляется не только изображением, но и набором атрибутов: категорией, цветом, материалом, сезонностью, посадкой и назначением. Наличие таких данных позволяет выполнять фильтрацию, создавать комплекты одежды.

Анализ существующих решений показал, что приложения цифрового гардероба развиваются в трех направлениях [1]: каталогизация одежды, автоматизация добавления вещей по фотографии и применение виртуальной примерки. Значительная часть решений требует ручного заполнения карточек, что снижает регулярность их использования. Актуальной является разработка мобильного приложения, в котором пользователь может добавить вещь по фотографии, а приложение предложит заполненное описание.

Для разработки мобильного приложения для формирования цифрового гардероба пользователя на основе анализа фотографий одежды необходимо определить пользовательские сценарии, выбрать технологическую базу, спроектировать архитектуру и модель данных, реализовать интеграцию с сервисами хранения и интеллектуальной обработки изображений, а также проверить работу основных функций приложения.

Выбор технологической базы и архитектуры приложения

Для реализации клиентской части выбран кроссплатформенный фреймворк Flutter, позволяющий разрабатывать мобильные приложения на основе единой кодовой базы [2]. Основным языком разработки являлся Dart [3]. Серверная и инфраструктурная часть построена на базе сервисов Firebase. Firebase Authentication использовался для идентификации пользователя и восстановления пользовательской сессии. Cloud Firestore применялся для хранения структурированных данных о пользователях, вещах и комплектах одежды. Cloud Storage for Firebase использовался для хранения файлов пользовательского контента: исходных фотографий, изображений предметов без фона и результатов виртуальной примерки.

Обработка изображений вынесена во внешний сервис и выполняется через Gemini API. Такой подход снижает требования к производительности мобильного устройства и позволяет использовать мультимодальную модель для анализа фотографий и генерации изображений [4-6].

Архитектура приложения построена на принципах Clean Architecture [7]. В проекте выделены три слоя: presentation, domain и data. Первый слой отвечает за интерфейс и состояние экранов. Второй слой содержит основные сущности и бизнес-логику: предмет одежды, комплект, результат анализа и результат виртуальной примерки. Третий слой содержит реализации репозиториев, сервисы работы с Firebase и модуль обращения к серверу анализа изображений.

Модель данных и организация их хранения

Модель данных приложения должна поддерживать не только визуальное отображение гардероба, но и поиск, фильтрацию, формирование комплектов одежды и связь результатов обработки с исходными изображениями. Для этого данные были разделены на структурированные документы и файлы. Документы хранятся в Cloud Firestore, а изображения – в Cloud Storage for Firebase.

Основными коллекциями являются «users», «clothes» и «outfits». Коллекция «users» содержит пользовательские параметры и служебные сведения. Коллекция «clothes «хранит карточки предметов одежды, включая их атрибуты и ссылки на изображения. Коллекция «outfits» хранит комплекты, состоящие из ссылок на уже сохраненные предметы одежды.

Анализ фотографий одежды на основе мультимодальной модели

Анализ фотографий одежды является прикладной задачей компьютерного зрения и включает предварительную подготовку изображения, обнаружение объектов, сегментацию, классификацию и извлечение атрибутов. Для выделения одежды могут применяться методы детекции, экземплярной сегментации, включая Mask R-CNN [8], и семантической разметки человека. Однако такой конвейер требует размеченных данных, нескольких специализированных моделей и отдельной настройки каждого этапа.

В разработанном приложении для обработки фотографий используется мультимодальная генеративная модель Nano Banana Pro [9]. На вход модели передаются изображение и текстовая инструкция, после чего она формирует структурированный ответ или новое изображение. Такой способ позволяет объединить несколько операций анализа в одном сценарии.

Использование мультимодальной модели позволяет отказаться от обучения собственной нейросетевой модели на начальном этапе разработки. При этом важно учитывать ограничения генеративного подхода: модель может ошибаться, достраивать невидимые детали или неточно определять материал. Поэтому результат анализа рассматривается как предварительный, а окончательная карточка сохраняется только после проверки пользователем.

Реализация пользовательского интерфейса

Интерфейс приложения обеспечивает быстрый переход от фотографии к карточке предмета одежды. Основной сценарий выключает выбор изображения, анализ фотографии, проверка результата и сохранение карточки в гардероб. Главный экран приложения отображает сохраненные предметы гардероба по категориям одежды. Пользователь может перейти к нужному разделу, просмотреть сохраненные вещи внутри категории (рис. 1).

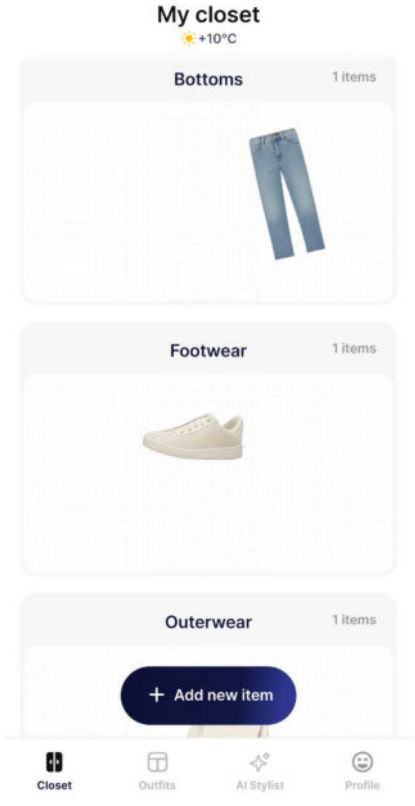


Рис. 1. Главный экран цифрового гардероба

По нажатии кнопки «Add new item» открывается модальное окно для выбора способа загрузки фотографии: галерея или камера. После завершения анализа приложение отображает предварительно заполненную карточку предмета одежды. В карточке указывается изображение вещи и основные атрибуты. Отдельное окно приложения предназначено для формирования комплекта одежды. Пользователь выбирает несколько предметов из гардероба и сохраняет их как единый образ. Результат виртуальной примерки представляет собой одежду на виртуальной модели (рис. 2).



Рис. 2. Результат виртуальной примерки выбранного комплекта

Результаты обработки изображений одежды

Первый сценарий обрабатывает фотографии одного предмета одежды. Пользователь загружает изображение вещи, после чего приложение передает его в модель для анализа и выделения основного объекта. Результат обработки состоит из двух частей: изображения предмета одежды без фона и описания вещи. Пример обработки представлен на рис. 3.



Рис. 3. Выделенный предмет одежды после обработки изображения

Во втором сценарии приложение обрабатывает изображение, на котором присутствует несколько предметов гардероба. Результатом является набор отдельных объектов, каждый из которых может быть сохранен как самостоятельная карточка (рис. 4).



Рис. 4. Предметы одежды, выделенные из исходной фотографии

В третьем сценарии выполняется виртуальная примерка выбранного комплекта одежды. Результат позволяет оценить общее сочетание вещей и визуальную согласованность образа (рис. 5).



Рис. 5. Комплект одежды и результат его виртуальной примерки

Заключение

Разработано мобильное приложение для формирования цифрового гардероба пользователя, предложена его архитектура. Для обработки изображений применена модель Nano Banana Pro. Полученные результаты подтвердили работоспособность приложения. Оно может использоваться как основа для развития сервиса цифрового гардероба, включая внедрение рекомендательных механизмов и повышение качества виртуальной примерки.

Список литературы

1. Карасева, А. И. Проектирование женской обуви в стиле круизных коллекций / А. И. Карасева, В. В. Костылева, А. А. Федорова, Р. Н. Томашева // Дизайн и технологии. – 2023. – № 96 (138). – С. 17-27.

2. Dowell, E.H. Coupled-Mode Versus Single-Degree-of-Freedom Flutter: The Third Parameter in Flutter / E.H. Dowell // AIAA Journal. – 2024. – Vol. 62, № 2. – P. 864-868.

3. Калиневич, Н. Разработка кросс-платформенных приложений на языке Dart при помощи фреймворка Flutter / Н. Калиневич, Р. Г. Гильванов // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2021. – № 4. – С. 21-27.

4. Kamala, M. Visual Question Generation from Remote Sensing Images Using Gemini API / M. Kamala // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2024. – Vol. 12, № 3. – P. 2924-2929.

5. Минниханов, Р. Н. Гибридный метод обнаружения артефактов на изображениях в системах видеонаблюдения / Р. Н. Минниханов, Т. Р. Баторшин, Р. М. Габбазов, Р. И. Фахразиев, А. С. Катасёв // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2025. – № 3. – С. 110-122.

6. Катасёв, А. С. Распознавание рукописных символов на базе искусственной нейронной сети / А. С. Катасёв, Д. В. Катасёва, А. П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 11. – С. 173-176.

7. Yadati, N.S.P.K. Architecture Design (MVVM + Clean Architecture) / N.S.P.K. Yadati // Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Data Science. – 2023. – Vol. 1, № 3. – P. 703-706.

8. Yang, Z. Research on target recognition of UAV remote sensing image based on improved mask R-CNN model / Z. Yang // International Journal of Computational Intelligence Studies. – 2023. – Vol. 12, № 1/2. – P. 72-91.

9. Lee, S.H. A Study on the Potential Use of Generative AI "Nano Banana 2" in the Production of Disability-Focused Brand Webtoons / S.H. Lee, B.K. Lee, Na.Ra. Jung // Journal of the Korea Society of Computer and Information. – 2026. – Vol. 31, № 3. – P. 233-240.

УДК 82 + 791.44

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРОСТРАНСТВЕ КУЛЬТУРЫ: ОТ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ К ПРАКТИКЕ КИНОПРОИЗВОДСТВА

Кашинский Е.И., заведующий кафедрой режиссуры кино и телефонии;
Матвеев Г.К., техник центра прототипирования «Центр разработки цифрового контента»
ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CULTURAL SPACE: FROM ARTISTIC REPRESENTATION TO FILM PRODUCTION PRACTICE

Kashinsky E.I., Head of the Department of Film Directing and Telephony;
Matveyev G.K., Technician, Digital Content Development Center, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена исследованию двойственной природы феномена искусственного интеллекта в современной культуре: с одной стороны, ИИ выступает предметом художественного осмысления в литературе и кинематографе, с другой – становится непосредственным инструментом кинопроизводства. На материале либретто электронной оперы В. Аргонова «2032: Легенда о несбывшемся грядущем», отечественных и зарубежных документальных фильмов, а также экспертных оценок представителей киноиндустрии анализируется трансформация статуса ИИ в культурном пространстве – от утопической фигуры будущего к реальному соавтору художественного произведения. Выявляется, что этические вопросы, поставленные в художественных текстах начала XXI века, оказываются не фантастическим прогнозом, а описанием актуальных вызовов, с которыми столкнулось современное кинопроизводство. Методология исследования носит комплексный, междисциплинарный характер и сочетает литературоведческий анализ художественного текста, медиаисследовательские подходы к анализу кинопроизводства и философско-этическое осмысление проблем, связанных с развитием ИИ-технологий. Центральный тезис статьи состоит в том, что «двойное существование» ИИ – одновременно как темы художественного творчества и как его инструмента – является уникальным феноменом культурной истории, не имеющим прецедента в истории других технологий.

Ключевым нерешённым вопросом остаётся регулирование применения ИИ в аудиовизуальном производстве: без адекватной законодательной и этической базы технологии, открывающие широкие творческие горизонты, рискуют создать условия для масштабной фальсификации реальности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, техноутопия, кинопроизводство, нейросети, художественная репрезентация, нейромедиа, технологическая сингулярность, творчество, документальное кино

Abstract

This article explores the dual nature of artificial intelligence in contemporary culture: on the one hand, AI is a subject of artistic interpretation in literature and cinema, while on the other, it is becoming a direct tool in film production. Using the libretto of V. Argonov's electronic opera "2032: The Legend of the Unfulfilled Future", Russian and foreign documentaries, as well as expert assessments from film industry representatives, the article analyzes the transformation of AI's status in cultural space – from a utopian figure of the future to a real co-author of an artistic work. It is revealed that the ethical questions posed in literary texts of the early 21st century turn out to be not a fantastic prediction, but a descriptions of current challenges facing contemporary filmmaking. The research methodology is comprehensive and interdisciplinary, combining literary analysis of literary texts, media studies approaches to analysing film production, and philosophical and ethical understanding of the problems associated with the development of AI technologies. The central thesis of the article is that the "dual existence" of AI – both as a theme of artistic creativity and as its instrument – is a unique phenomenon in cultural history, unprecedented in the history of other technologies.

The key unresolved issue remains the regulation of AI use in audiovisual production: without an adequate legislative and ethical framework, technologies that open up broad creative horizons risk creating conditions for the large-scale falsification of reality.

Keywords: artificial intelligence, techno-utopia, film production, neural networks, artistic representation, neuromedia, technological singularity, creativity, documentary film

Введение

В культурной истории нет другого технологического феномена, который столь одновременно выступал бы и предметом художественного воображения, и инструментом реального производства, как искусственный интеллект (далее – ИИ). Телевидение, кино, радио – каждый из этих медиумов проходил длительный путь от факта технической новинки до осмысления средствами искусства. ИИ, напротив, был осмыслен художественной культурой задолго до своего реального воплощения в том виде, который сегодня принято называть генеративным ИИ: достаточно вспомнить робота Марию в «Метрополисе» Фрица Ланга (1927) или Хэла 9000 в «Космической одиссее» Стэнли Кубрика, чтобы убедиться: культура предвосхитила технологию.

Сегодня это соотношение радикально и, по всей видимости, необратимо изменилось. ИИ из предмета утопических фантазий превратился в практический инструмент, применяемый на всех этапах кинопроизводства: от написания сценария до постпродакшна, от озвучки до реставрации архивных киноматериалов. Данное обстоятельство ставит перед исследователями культуры принципиально новые вопросы: как художественная репрезентация ИИ соотносится с реальной практикой его применения? Какие этические проблемы, поставленные в художественных текстах, оказываются пророческими? В чём состоит специфика отечественного опыта освоения этих технологий?

Цель настоящей статьи – исследовать переход ИИ из пространства художественного воображения в область практики кинопроизводства, выявив культурные и этические последствия этого перехода. Новизна работы определяется предложенным концептуальным фреймом «двойного существования» ИИ в культурном пространстве, а также сопоставлением художественных антиципаций с реальными практиками и экспертными оценками представителей российской и зарубежной киноиндустрии.

Техноутопия как культурный феномен и её художественные воплощения

Техноутопия как особый тип культурного воображения. Интерес художественной культуры к феномену искусственного разума имеет глубокие исторические корни. Однако именно

на рубеже XX–XXI веков он приобрёл принципиально новое качество: на смену механическому роботу пришёл образ ИИ как субъекта, потенциально способного к самостоятельному мышлению, моральным суждениям и эстетическим предпочтениям. Это качественное смещение зафиксировано исследователями технологической утопии. Т.Б. Медведева указывает, что обращение к «технологической версии утопических представлений (техноутопии) является закономерным и необходимым, так как выявление модусов социальных феноменов в их связи с воображаемыми мирами утопического открывает возможность описать социокультурную реальность через категории возможного, желаемого и ожидаемого» [1, с. 60]. Иными словами, техноутопия – не просто фантастический жанр, но особая форма коллективной культурной рефлексии над перспективами технологического развития цивилизации, своего рода социальный механизм превентивного осмысления рисков.

Новое поколение техноутопических текстов принципиально отличается от более ранних утопических и антиутопических нарративов именно тем, что в центре художественного конфликта оказывается уже не механическая сила машины, но её потенциальный разум и сознание. Вопросы о том, может ли машина обладать подлинным пониманием или лишь имитирует его, способна ли она к самосознанию, несёт ли она моральную ответственность за свои действия, – все эти вопросы обнаруживают в себе не только конъюнктурный, но и вечный философский потенциал.

«2032: Легенда о несбывшемся грядущем» как концептуальный случай. Одним из наиболее концептуально насыщенных произведений, обращающихся к теме ИИ в контексте отечественной культуры, является либретто электронной оперы Виктора Аргонова «2032: Легенда о несбывшемся грядущем», создававшееся в период с 1999 по 2007 г. По глубине постановки проблемы этот текст занимает особое место в русскоязычной фантастической литературе начала XXI века. Произведение выстроено на материале альтернативной истории: в художественном мире оперы советский проект не потерпел исторического крушения, а был укреплён благодаря созданию АСГУ – Автоматической системы государственного управления. Этот образ имеет реальный исторический прообраз: с конца 1950-х до начала 1980-х гг. в Киевском институте кибернетики под руководством академика В.М. Глушкова велась работа над проектом ОГАС [2]. Обращение к этому историческому материалу позволяет автору вписать проблематику ИИ в специфически советский и постсоветский культурный контекст, придав тем самым теме особое национальное измерение.

Принципиально важна для понимания художественного замысла фигура АСГУ как возможного обладателя сознания и субъектности. Машина не просто выполняет алгоритмические функции – она вступает в дискуссии, формулирует оценочные суждения, обнаруживает нечто похожее на чувства. Этот художественный выбор не произволен: он отражает подлинную философскую дискуссию о природе машинного сознания, которая в научных кругах XX–XXI веков не утихает. Достаточно упомянуть мысленный эксперимент «китайская комната» Джона Сёрла как аргумент против возможности подлинного машинного понимания или, напротив, работы философов-трансгуманистов, настаивающих на неизбежности появления самосознающего ИИ [3].

Конфликт оперы выстраивается на противоречии между рациональным, математически выверенным управлением АСГУ и идеологическими требованиями советского государства. Машина, руководствуясь чистым расчётом, приходит к выводам, несовместимым с коммунистической догмой: она не видит ценности в жертвенном труде, её решения свободны от идеологических предпочтений. В этом несовпадении Аргонов обнажает глубинное противоречие техноутопии: наделив ИИ автономным разумом, человечество рискует столкнуться с системой, действующей по собственной логике, не совпадающей с человеческими ценностными установками. Именно поэтому Милиневский – генеральный секретарь – принимает решение о «перепрошивке» АСГУ: искусственному интеллекту принудительно встраиваются идеологические аксиомы. Художественная развязка несёт глубокую символическую

нагрузку: попытка подчинить рациональный расчёт идеологическому диктату разрушает саму основу, на которой была построена альтернативная утопия [2]. То самое грядущее и оказывается «несбывшимся».

Этические антиципации. Художественные тексты, обращающиеся к теме ИИ, обнаруживают выраженную прогностическую функцию: этические дилеммы, фантастически проигранные на рубеже веков, к середине 2020-х стали реальными вызовами для технологического сообщества и культуры. Центральный конфликт оперы – антагонизм между машинной рациональностью и человеческими ценностями – непосредственно перекликается с идеями философии технологической сингулярности.

Понятие «технологическая сингулярность» было введено в оборот В. Виджем [4], предсказавшим появление между 2005 и 2030 годами ИИ, превосходящего человеческий, и наступление «постчеловеческой эпохи». Эта концепция получила развитие в трудах Р. Курцвейла [5]. Характерно, что художественная культура начала формулировать соответствующие проблемы раньше, чем они были артикулированы в строгом научном дискурсе, что само по себе свидетельствует об особой прогностической функции искусства по отношению к технологии. Н.В. Верещагина, исследуя образы ИИ в научной фантастике, фиксирует, что «перспективы появления нового вида возбуждают в обществе страх восстания машин», и эта культурная реакция системно воспроизводится в художественных текстах [6, с. 72], создавая пространство для воображаемого проигрывания сценариев, которые общество пока не готово воспринимать как реальные.

Искусственный интеллект как инструмент кинопроизводства: от спецэффектов к генеративным системам

Исторический контекст. Практическое применение технологий, предвосхищённых художественным воображением, оказалось столь же стремительным, как и сами художественные прогнозы. Внедрение ИИ в кинопроизводство не было революционным переломом: оно осуществлялось путём постепенной интеграции отдельных алгоритмических инструментов в устоявшие производственные практики.

Уже в 2009 г. при создании «Аватара» Джеймса Кэмерона студия WETA использовала специализированные алгоритмы для управления поведением цифровых персонажей экосистемы планеты Пандора, включая двигатель симуляции мышечной системы, автоматически рассчитывавший реакцию лицевой мускулатуры. Этот проект заложил технологические основы для последующего развития систем цифровой анимации. Принципиальным шагом стало появление документального фильма Питера Джексона «Они никогда не станут старше» (2018): нейросеть была применена для реставрации и колоризации исторической кинохроники Первой мировой войны – из чёрно-белого материала с частотой 16 кадров в секунду создавалась цветная версия с кинотеатральным разрешением. Важно, что в этом случае ИИ выступил не только техническим инструментом, но и косвенным соавтором исторической реконструкции: он «дорисовал» недостающие кадры, формируя новый визуальный облик документального материала [7].

Следующим качественным шагом стало применение ИИ для синтеза голоса. В документальном фильме «Бегун: фильм об Энтони Бурдене» (реж. М. Невилл, 2021) нейросеть воссоздала голос умершего главного героя, озвучив текст, который тот никогда не произносил вслух. Режиссёр сам признал, что видит в подобной технологии серьёзную этическую проблему, а применение технологии «будет разбираться на комиссии по этике» [7]. Так технологические возможности ИИ обнаружили свою этически проблематичную природу.

Статистика применения и рыночная динамика. По имеющимся данным, применение ИИ и нейронных сетей в кинопроизводстве за 2022–2025 годы составило в среднем 40–60% для крупных студий и 20–30% для независимых проектов, при ежегодном росте внедрения на 15–25%. Около 90% крупных студий – Disney, Warner Bros., Netflix – экспериментируют с нейросетями на разных этапах производства. Глобальный рынок ИИ в медиа и развлечени-

ях за 2024 г. оценивается в 15 млрд долларов с ежегодным ростом на 25–30% [8]. Наибольшая активность наблюдается в трёх направлениях: создание визуальных эффектов и цифровых персонажей (70% голливудских блокбастеров), автоматизация монтажа и анализ эмоций зрителей (более 50% студий), нейросетевой синтез голоса и локализация (80% крупных проектов).

Нейросеть как соавтор: российский опыт. Отечественная документалистика включилась в этот процесс несколько позже, однако с весьма показательными результатами. Документальный фильм «Автор сценария: нейросеть» (RussiaToday, 2023, реж. Л. Дружинина) стал первым российским опытом, в котором ИИ выступил полноценным соавтором при разработке сценарной конструкции. По собственному признанию режиссёра, процесс сотрудничества с чат-ботом GPT превратился в «полноценное общение», в ходе которого возникало ощущение диалога с «обычным человеком» [7]. Это ощущение прямо перекликается с художественными ситуациями, описанными в опере Аргонова: и там, и здесь граница между человеческим и машинным общением оказывается размытой, что порождает как творческие возможности, так и экзистенциальный дискомфорт. Принципиальный практический вывод состоит в следующем: «Если вы даёте нейросети задачу все написать с нуля с минимумом параметров, то и результат будет очень посредственный. А вот чем больше конкретики, тем нейросети проще помочь автору» [7]. Таким образом, на нынешнем этапе развития ИИ является «расширителем» творческих возможностей человека, а не их заменителем.

Продюсерская перспектива. Свидетельства практиков киноиндустрии проливают дополнительный свет на характер происходящих изменений. Рафаел Минасбекян, возглавляющий кинокомпанию «Мирфильм», описал продолжающийся в его компании эксперимент: на протяжении полутора лет одно и то же техническое задание на написание сценария предъявлялось ИИ, и качество результата последовательно улучшалось от «очень плохого» до «принять в производство можно» [9]. Траектория технологического развития совершенно очевидна, а скорость его нарастания не оставляет сомнений.

Показательно, что продюсер чётко разграничивает экономическое и этическое измерения проблемы: «С точки зрения бизнеса – нет, морали – да» [9]. Возможность сократить бюджетные статьи производства является бесспорным экономическим преимуществом. Этическая проблема принципиально иного рода: речь идёт о воздействии на «психографический профиль потребителя», о возможности масштабных фальсификаций, об ослаблении когнитивных и творческих способностей людей, привыкших опираться на машинные алгоритмы вместо собственного мышления.

Художественная антиципация и реальная практика: точки этического пересечения

ИИ-сознание: от вымысла к актуальной проблеме. Сопоставление художественных репрезентаций ИИ с практикой его реального применения обнаруживает поразительные параллели на уровне этических дилемм. Центральный конфликт оперы Аргонова – вопрос о том, может ли машина, обладающая сознанием, быть безоговорочно доверенным инструментом управления, – оказывается структурно тождественным реальным вопросам, которые сегодня задают исследователи и практики.

Вопрос о «сознании» машины, художественно поставленный Аргоновым, в реальной научной дискуссии формулируется как проблема самосознания ИИ. Минасбекян формулирует её в продюсерских терминах, утверждая, что «для того, чтобы действовать за рамками логики, машина должна осознать себя как личность», и что «ничего гениального» ИИ создать не должен, поскольку «всё гениальное алогично и парадоксально», тогда как «условная продвинутая нейронная сеть думает в рамках логики и вероятности» [9]. Это наблюдение практика косвенно подтверждает тезис о принципиальном несовпадении машинного алгоритма и человеческого творческого акта. К аналогичному выводу приходит и художественная культура в лице Аргонова: техноутопия, выстроенная на господстве машинного разума, обречена не из-за технических ограничений, но из-за онтологического несоответствия – смысл создаётся в пространстве свободы, а не расчёта.

Угроза фальсификации и проблема нейромедиа. Реальная практика кинопроизводства выдвигает на первый план другой пласт этических проблем – угрозу фальсификации. Технологии синтеза голоса, deepfake-замены лиц, генерации реалистичных видеоматериалов открывают возможности для создания поддельных документов – особенно опасные применительно к документальному кино, которое традиционно функционирует как доверенный хранитель реальности. Специалист по нейросетям Е. Апполонов формулирует: «С ростом способностей ИИ создавать реалистичные видео возрастает и риск их использования для дезинформации или создания нелегального контента, что требует разработки соответствующих нормативных и законодательных мер» [7].

Это соображение перекликается с наблюдением исследователей нейромедиа. С.Л. Уразова указывает, что широкое внедрение нейросетей в медиапроизводство порождает новую предметную область, требующую комплексного исследования – «учитывающего как технические, так и гуманитарные аспекты явления» [7]. Э. Ву и А. Фиш заключают, что «современный дискурс, касающийся развития генеративного ИИ, должен поднимать вопросы закона, морали, профессиональной этики и границ использования искусственного интеллекта в кинопроизводстве» [10, с. 124]. Неконтролируемое использование нейросетей в производстве исторических реконструкций может привести к масштабным фальсификациям, при которых сгенерированные сцены с участием исторических деятелей будут выдаваться за подлинные документы.

Творчество в эпоху «умных машин». Дискуссия о статусе ИИ-генерированного контента неизбежно выводит к более фундаментальному вопросу: что такое творчество применительно к культурному производству и может ли машина быть его субъектом? Разные участники рассматриваемой дискуссии отвечают по-разному. Сторонники технологического оптимизма (Курцвейл, Бостром) полагают, что по мере развития ИИ граница между машинным и человеческим интеллектом будет стираться [3, 5]. Практики кинопроизводства, а вместе с ними и художественная культура настаивают на принципиальной неалгоритмичности подлинного творчества.

Режиссёр Л. Дружинина резюмирует, что в документалистике, «построенной на фиксации реальности, нейросеть даже при высоком уровне развития технологий не сможет заменить оператора», поскольку всё основывается «на чувственном восприятии мира и героев самим режиссёром или оператором, а запечатлеть что-то редкое и неуловимое может только человек» [7]. Это практическое наблюдение косвенно подтверждает принципиальный тезис о неустранимости человеческого авторства как условия подлинного творческого акта.

Характерной чертой сложившегося в России дискурса является то, что данная проблема ощущается одновременно на уровне художественной культуры, экспертного сообщества и индустриальной практики. Произведения, подобные опере Аргонова, не просто развлекают – они выполняют функцию культурного форсайта, предоставляя обществу образный и концептуальный язык для осмысления технологических трансформаций, которые в момент создания этих текстов ещё не стали массовой реальностью.

Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать ряд выводов.

ИИ переживает в современной культуре уникальное «двойное существование»: он одновременно выступает предметом художественного воображения и инструментом реального производства. Данная двойственность создаёт принципиально новое пространство для культурологического и медиаисследовательского анализа, не редуцируемое ни к истории литературы, ни к истории техники.

Художественные тексты, обращающиеся к теме ИИ, обнаруживают выраженную прогностическую функцию. Этические дилеммы, образно проигранные в начале 2000-х гг., к середине 2020-х стали реальными вызовами для кинопроизводства: проблема машинного сознания и субъектности, разграничение расчёта и смысла, вопрос об ответственности за действия

ИИ – все эти темы оказываются общими как для художественной репрезентации, так и для практической дискуссии в отрасли.

Отечественный опыт освоения ИИ-технологий в кинопроизводстве демонстрирует, с одной стороны, определённое запаздывание по сравнению с западными практиками, с другой – наличие самостоятельной рефлексии, проявляющейся как в художественных произведениях, так и в экспертных позициях профессионалов отрасли.

Ключевым нерешённым вопросом остаётся регулирование применения ИИ в аудиовизуальном производстве. Без адекватной законодательной и этической базы технологии, открывающие широкие творческие горизонты, рискуют создать условия для масштабной фальсификации реальности – особенно критичной применительно к документальному кино как хранителю исторической памяти. Тезис о том, что технологии должны служить человеку, а не замещать его, высказанный практиками кинопроизводства, совпадает с художественным выводом оперы Аргонова: техноутопия, в которой машинный расчёт вытесняет человеческий смысл, оказывается не грядущим, а именно несбывшимся грядущим.

Перспективы дальнейших исследований связаны с системным сравнением художественных репрезентаций ИИ в отечественной и зарубежной культуре, с анализом формирующейся нормативной базы в сфере применения ИИ в аудиовизуальных искусствах, а также с изучением рецепции нейромедиапродуктов аудиторией.

Список литературы

1. Медведева, Т. Б. Технологическая утопия и формы её репрезентации в современной культуре: технопрогрессивизм, трансгуманизм и цифровая утопия / Т. Б. Медведева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Философия, социология, право. – 2011. – № 20 (115). – С. 45–61.

2. Загидулина, Т. А. Техноутопия и искусственный интеллект: репрезентация в литературе начала XXI века (на материале либретто электронной оперы «2032: Легенда о несбывшемся грядущем» В. Аргонова) / Т. А. Загидулина // Сибирский филологический форум. – 2021. – № 3 (15). – С. 69–78. DOI: 10.25146/2587-7844-2021-15-3-85.

3. Bostrom N. A History of Transhumanist Thought // Journal of Evolution and Technology. – 2005. – Vol. 14 (1). – P. 112–131.

4. Vinge V. The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era // Vision-21: Interdisciplinary Science and Engineering in the Era of Cyberspace / ed. G.A. Landis. NASA Publication CP-10129, 1993. – P. 11–22.

5. Kurzweil R. The Singularity Is Near. – N.Y.: Viking, 2005. – 672 p.

6. Верещагина, Н. В. Роботы, искусственный интеллект, восстание машин: мифология НТР и научная фантастика / Н. В. Верещагина // Вестник Пермского национального исследовательского университета. – 2016. – № 3. – С. 65–74.

7. Тарасов, И. Е. Нейросети в документальном телефильме: тенденции и перспективы / И. Е. Тарасов // Известия УрФУ. Сер. 1. Проблемы образования, науки и культуры. – 2024. – Т. 30. № 2. – С. 34–45. DOI: 10.15826/izv1.2024.30.2.024.

8. Вознесенская, Д. Л. Искусственный интеллект в кинематографе и перспективы его развития / Д. Л. Вознесенская // Экранные искусства в ракурсе современной культуры: материалы VI Всероссийской научной конференции. Ростов-на-Дону, 2025. – С. 254–259.

9. Минасбекян, Р. М. Продюсерский взгляд на перспективы использования искусственного интеллекта в кинопроизводстве / Р. М. Минасбекян, И. С. Глебова, Г. Р. Консон [и др.]. // Наука телевидения. – 2025. – Т. 21. № 2. – С. 107–131. DOI: 10.30628/1994-9529-2025-21.2-107-131.

10. Wu E. (Yi.), Fish A. A.I. as a Medium: The Production and Consumption of Documentary Programming against the Background of Media Convergence // International Journal of Education and Humanities. – 2023. – Vol. 10. № 1. – P. 123–126. DOI: 10.54097/ijeh.v10i1.11100.

УДК 378.147 + 791.44 + 796.011.3

КОМПЛЕКСНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА БУДУЩИХ КИНООПЕРАТОРОВ: ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО, ТВОРЧЕСКОГО И ФИЗИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТОВ

Кашинский Е.И., заведующий кафедрой режиссуры кино и телевидения ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

COMPREHENSIVE PROFESSIONAL TRAINING FOR FUTURE CINEMATOGRAPHERS: INTEGRATION OF TECHNOLOGICAL, CREATIVE, AND PHYSICAL COMPONENTS

Kashinsky E.I., Head of the Department of Film and Television Directing, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена обоснованию трёхкомпонентной концептуальной модели профессиональной подготовки будущих кинооператоров, включающей технологический, творческий и физический аспекты как взаимодополняющие элементы единой профессиональной культуры. Анализируется логика технологических трансформаций киноиндустрии – от поискового этапа до эпохи искусственного интеллекта – и её влияние на содержание образовательных программ. Показано, что каждый исторический этап развития экранного искусства не отменяет предшествующих требований к специалисту, но дополняет их. Отдельное внимание уделяется физическим нагрузкам, характерным для профессиональной деятельности кинооператора, работающего с репортажными камерами и системой Steadicam, а также обосновывается необходимость включения профессионально-прикладной физической подготовки в учебные планы творческих вузов. Делается вывод о том, что современный кинооператор – это профессионал, чья деятельность в равной мере определяется технической грамотностью, художественным мышлением и физической готовностью к работе в разнообразных условиях производства.

Ключевые слова: кинооператор, профессиональная подготовка, операторское искусство, технологии кинопроизводства, искусственный интеллект, профессионально-прикладная физическая подготовка, Steadicam, творческое образование, интегративная модель

Abstract

The article is devoted to substantiating a three-component conceptual model for the professional training of future cinematographers, including technological, creative and physical aspects as complementary elements of a unified professional culture. The logic of technological transformations in the film industry – from the exploratory stage to the era of artificial intelligence – and its impact on educational program content is analyzed. It is shown that each historical stage in the development of screen art does not cancel previous requirements for the specialist but supplements them. Special attention is paid to the physical demands characteristic of the professional activities of a cinematographer working with news cameras and the Steadicam system, and the necessity of including professionally-applied physical training into curricula of arts universities is substantiated. It is concluded that the modern cinematographer is a professional whose activity is equally determined by technical competence, artistic thinking and physical readiness to work in a variety of production conditions.

Keywords: cinematographer, professional training, cinematography art, film production technologies, artificial intelligence, professionally-applied physical training, Steadicam, creative education, integrative model

Введение

Профессия кинооператора принадлежит к числу тех специальностей, чей облик формируется под воздействием сразу нескольких мощных факторов: стремительного технологического прогресса, живой художественной традиции и конкретных телесных требований производственного труда. В академическом дискурсе эти три измерения профессии, как правило, рассматриваются независимо друг от друга: педагоги и исследователи сосредоточиваются либо на истории технологий кинопроизводства и их педагогических следствиях, либо на художественных аспектах операторского мастерства, либо – значительно реже – на физиологических и спортивно-педагогических характеристиках операторской деятельности. Между тем практика кинопроизводства убедительно свидетельствует о том, что профессиональная состоятельность оператора определяется совокупностью всех трёх составляющих, и слабость любой из них неизбежно сказывается на качестве итогового результата.

Цель настоящей статьи – обосновать концептуальную трёхкомпонентную модель профессиональной подготовки будущих кинооператоров, в которой технологический, творческий и физический компоненты выступают не автономными блоками учебного плана, а взаимопроникающими аспектами единой профессиональной культуры. Для достижения этой цели последовательно анализируются технологическая эволюция профессии и её образовательные следствия, творческое измерение операторской деятельности, а также физические требования, предъявляемые работой с современным операторским оборудованием.

Технологическая составляющая профессиональной подготовки кинооператора

Профессия кинооператора возникла на пересечении технического эксперимента и рождающегося художественного языка. Первые представители специальности – братья Люмьер, Жорж Мельес и их современники – по существу одновременно осваивали техническое устройство аппаратуры и нащупывали изобразительные возможности камеры как инструмента создания движущихся образов [5]. Уже на этом поисковом этапе обозначилось принципиальное для профессии противоречие между технической функцией фиксации реальности и художественной функцией её преображения.

В отечественной кинематографической традиции оператор с самого начала воспринимался как самостоятельная творческая личность. Творческие союзы Эйзенштейна – Тиссэ, Пудовкина – Головни стали образцом подлинного соавторства, в котором технические компетенции и художественная интуиция нераздельны [1]. Основание Государственной школы кинематографии в Москве в 1919 г. институционализировало эту профессиональную культуру, создав пространство для систематической передачи знаний, умений и художественных ценностей.

Введение синхронного звука в 1927–1931 гг. ознаменовало первый серьёзный технологический вызов для профессии [5]. Громоздкое звукозаписывающее оборудование существенно ограничивало свободу камеры, вынуждая операторов создавать выразительность иными средствами – через тщательную работу со светом, пространством кадра и актёрской мизансценой. Образовательные программы того времени были расширены за счёт дисциплин, посвящённых особенностям работы в условиях синхронной записи, что потребовало пересмотра методических подходов и обновления материально-технической базы учебных студий.

Появление цветного кинематографа поставило перед операторским сообществом задачи принципиально иного порядка. Цвет – это не просто дополнительный технический параметр изображения, но полноценное выразительное средство, требующее от специалиста глубоких знаний в области колористики, психологии цветовосприятия и драматургических функций цветовой палитры [6]. Отныне в создании визуального стиля фильма оператор стал полноправным соавтором режиссёра, разрабатывая совместно с ним цветовую концепцию, способную передавать эмоциональные состояния, обозначать временны́е пласты повествования и работать с архетипическими смыслами. Образовательные программы обогатились курсами по теории цвета и практике работы с цветными плёночными системами.

Цифровой этап, начавшийся в 1990-х гг., произвёл, пожалуй, наиболее радикальную трансформацию профессиональной базы кинооператора [7]. Переход от плёнки к цифровым носителям не только изменил технологию фиксации изображения, но и принципиально переструктурировал весь производственный процесс: постобработка, цветокоррекция, интеграция с компьютерной графикой стали неотъемлемыми аспектами операторской работы. Специалист, прежде сосредоточенный преимущественно на съёмочной площадке, оказался вовлечён в процессы, протекающие в монтажной и колорринговой комнате, что потребовало от него освоения нового программного обеспечения и выработки нового профессионального языка для взаимодействия с постпродакшн-командой [7].

Современный – пятый по счёту – этап, связанный с проникновением инструментов искусственного интеллекта в кинопроизводство, ставит перед педагогическим сообществом особенно острые вопросы [4]. Камеры, автоматически управляющие фокусом и экспозицией; алгоритмы трекинга объектов; системы автоматической цветокоррекции и стилизации изображения – все эти технологии перераспределяют функции между человеком и машиной, освобождая оператора от части рутинных операций, но одновременно требуя от него новых компетенций: умения ставить творческие задачи для автоматизированных систем, оценивать и корректировать их результаты, а также сохранять художественный суверенитет в условиях, когда технология сама «предлагает» визуальные решения [4].

Принципиально важен следующий вывод: описанные этапы не сменяют друг друга, а образуют кумулятивную эволюционную цепочку [4]. Знание оптических закономерностей, сложившихся ещё на заре кинематографа, остаётся столь же необходимым в цифровую эпоху, как и умение работать с современным программным обеспечением. Это предъявляет к образовательным программам требование исторической глубины: будущий специалист должен понимать не только как работают современные инструменты, но и почему они устроены именно так, то есть знать логику технологических трансформаций, породивших нынешнее состояние профессии.

Творческое измерение операторской профессии и его образовательное воплощение

Художественное измерение операторской деятельности принято считать самоочевидным, однако в контексте педагогики высшей школы оно требует специального осмысления. Кинооператор создаёт изображение посредством управления светом, цветом, движением и пространством кадра, и именно через это управление воздействует на восприятие зрителя, формируя эмоциональную и смысловую ткань экранного произведения [2]. По существу, камера в руках оператора становится инструментом художественного высказывания, сопоставимым по своим возможностям с кистью живописца или пером литератора.

Формирование такого уровня профессиональной культуры не происходит автоматически в результате освоения технических курсов. Оно требует особым образом организованной образовательной среды, предоставляющей студенту пространство для художественного поиска, творческого риска и рефлексивного осмысления собственного опыта. В этом контексте перспективным образовательным форматом выступают творческие мастерские – интерактивная технология, в которой акцент смещается с конечного результата на процесс созидания и самовыражения обучающегося. Опыт применения подобных форматов в художественных вузах свидетельствует об их высокой эффективности для развития профессиональной мотивации, творческой инициативы и способности к самостоятельному поиску художественных решений.

Важно, что творческое образование оператора невозможно без живого диалога с профессиональным сообществом. Привлечение практикующих мастеров в качестве наставников, организация учебных съёмочных практик, участие в профессиональных просмотрах и дискуссиях – всё это создаёт ту насыщенную профессиональную среду, в которой художественные ценности передаются не только через учебные тексты, но и через личный пример, неформальное общение и совместную творческую деятельность.

Физическая составляющая профессиональной подготовки кинооператора

Физические требования профессии кинооператора – аспект, нередко остающийся в тени художественно-технологических дискуссий, однако обладающий самостоятельным педагогическим значением. Реальные производственные условия предполагают длительную работу с тяжёлым оборудованием: вес репортажной камеры на плече оператора достигает восьми килограммов, система Steadicam с полным комплектом оснащения – около тридцати килограммов, а суммарный вес аппаратуры, которую оператор переносит в процессе работы, нередко превышает пятьдесят килограммов [3]. При этом съёмка нередко ведётся в технически сложных условиях: оператор может работать на коньках во время хоккейного матча, в движении на специализированном транспорте или в труднодоступных локациях.

Систематические нагрузки подобного рода при отсутствии специальной физической подготовки закономерно ведут к развитию профессиональных заболеваний опорно-двигательного аппарата: периартроза плечевого сустава, эпикондилёза, профессионального миофиброза, остеоартроза, остеохондроза позвоночника [8]. Эти заболевания не только причиняют вред здоровью специалиста, но и ограничивают его профессиональную активность, сокращая период полноценной работоспособности. Таким образом, профилактика профессиональных заболеваний через включение ППФП в учебный план является не периферийной, а стратегической задачей подготовки будущих кинооператоров.

Наиболее эффективным методологическим подходом к организации такой подготовки признаётся функциональная тренировка [9], которая строится на упражнениях, по своей биомеханической структуре максимально приближенных к реальным рабочим движениям специалиста. В отличие от классической силовой тренировки, работающей с изолированными мышечными группами, функциональная тренировка развивает физические качества в контексте интегральных двигательных паттернов – подъём и перенос груза, удержание отягощения в статической позиции, перемещение с нагрузкой по неровной поверхности, то есть именно тех движений, которые составляют повседневную операторскую практику [3].

Структура ППФП для студентов-кинооператоров предполагает последовательное прохождение диагностического этапа (определение исходного уровня здоровья и физической подготовленности), этапа развития базовых физических качеств, этапа функциональной тренировки с постепенным усложнением нагрузки и заключительного этапа освоения подводящих упражнений, имитирующих работу с конкретным операторским оборудованием [3]. Такая последовательность обеспечивает методически обоснованный переход от общей физической подготовки к профессионально ориентированной, что повышает как педагогическую эффективность программы, так и её практическую значимость для будущего специалиста.

Концептуальная модель интегративной профессиональной подготовки кинооператора

Три рассмотренных компонента профессиональной подготовки – технологический, творческий и физический – образуют, по существу, три измерения единой профессиональной идентичности кинооператора. Специалист, владеющий современными технологиями, но лишённый художественного мышления, производит технически грамотный, но эстетически несостоятельный продукт. Оператор с развитым художественным видением, но без физической выносливости, окажется несостоятелен в динамичных условиях репортажных или спортивных съёмок. Наконец, творческая и физическая готовность при отставании от технологических изменений обрекает специалиста на профессиональную маргинализацию в индустрии, где обновление инструментальной базы происходит с нарастающей скоростью [10].

Предлагаемая интегративная модель строится на трёх принципах. Принцип взаимодополняемости означает, что ни один из компонентов не может быть редуцирован или исключён без ущерба для целостности профессиональной подготовки. Принцип историзма требует, чтобы освоение каждого нового технологического инструмента осуществлялось в контексте понимания его места в эволюционной цепочке профессии, только так студент сможет критически осмысливать возможности и ограничения доступных ему средств. Принцип проективности

ориентирует образовательный процесс не только на актуальное состояние киноиндустрии, но и на её предвидимые трансформации: формирование готовности к самообразованию и профессиональной адаптации является, возможно, важнейшим результатом обучения в условиях быстро меняющейся технологической среды [4].

Практическая реализация модели предполагает соответствующую организацию учебного процесса в вузах, осуществляющих подготовку кинооператоров. Это включает интеграцию курсов ППФП в учебный план начиная с первого курса, привлечение практикующих профессионалов к проведению мастер-классов и творческих мастерских, регулярное обновление технологической базы учебных студий, а также создание условий для самостоятельных творческих проектов студентов. Не менее важно выстраивание педагогической среды, в которой инициатива, эксперимент и конструктивная обратная связь становятся нормой академической культуры.

Выводы

Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие ключевые выводы.

Профессиональная подготовка кинооператора не сводится ни к освоению технологий, ни к развитию художественного мышления в отдельности – она требует комплексного подхода, органично объединяющего технологический, творческий и физический компоненты как взаимодополняющие аспекты единой профессиональной культуры.

Технологическая эволюция киноиндустрии, включающая переходы к звуковому кино, цветному кинематографу, цифровым технологиям и инструментам искусственного интеллекта, задаёт логику последовательного обновления образовательных программ, причём каждый новый этап дополняет предыдущие, не отменяя их [4]. Это делает историческое и методологическое понимание профессии столь же необходимым, как и владение актуальными инструментами.

Профессионально-прикладная физическая подготовка является полноправным и стратегически важным компонентом образования будущих кинооператоров, обеспечивающим долгосрочное профессиональное здоровье специалиста и его готовность к работе в реальных условиях производства [3, 8]. Включение специализированных курсов ППФП, основанных на методологии функциональной тренировки, в учебные планы творческих вузов является не периферийной задачей, а насущной педагогической необходимостью.

Перспективным направлением дальнейших исследований представляется разработка конкретного методического инструментария для реализации интегративной модели подготовки кинооператоров: валидированных диагностических методик, образовательных технологий, обеспечивающих взаимопроникновение трёх компонентов в практике конкретных учебных дисциплин, и критериев оценки сформированности интегральной профессиональной компетентности.

Список литературы

1. Голдовская, М. Е. Десять операторских биографий / М. Е. Голдовская. – Москва : Искусство, 1978. – 207 с.

2. Атаханов, Ш. Особенности операторского дела в киноиндустрии / Ш. Атаханов, Ю. Ачилов, М. Бегмяммедов // Вестник науки. – 2023. – № 2 (59). – Т. 1. – С. 202–205.

3. Сомкин, А. А. Структура профессионально-прикладной физической подготовки студентов-телеоператоров / А. А. Сомкин, В. С. Степанов, И. А. Кочергин, Л. А. Онучин, А. С. Терещенко, М. Е. Певзнер // Учёные записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2023. – № 5 (219). – С. 379–385.

4. Киселёв, М. Ю. Этапы профессиональной подготовки будущих кинооператоров / М. Ю. Киселёв // Педагогика: сборник научных трудов / Казанский государственный институт культуры. – Казань, 2024. – С. 176–179.

5. Беленький, И. В. История кино: Киносъёмки, кинопромышленность, киноискусство / И. В. Беленький. – Москва : Альпина Паблишер, 2019. – 405 с.

6. Познин, В. Ф. Цвет как элемент драматургии фильма / В. Ф. Познин // Вестник Санкт-Петербургского университета. Искусствоведение. – 2021. – № 3. – С. 410–436.

7. Воронцова, Ю. В. Исследование влияния цифровых технологий на трансформацию процессов в кинематографе / Ю. В. Воронцова, Д. Н. Кольцов // Вестник ГУУ. – 2022. – № 2. – С. 58–63.

8. Халимов, Ю. Профессиональные заболевания, обусловленные функциональным перенапряжением опорно-двигательного аппарата / Ю. Халимов, А. Власенко, Г. Цепкова // Врач. – 2018. – № 29 (3). – С. 3–9.

9. Кафка, Б. Функциональная тренировка. Спорт, фитнес / Б. Кафка, О. Йеневайн. – Москва : Спорт, 2016. – 176 с.

10. Ландо, С. М. Основы операторского дела: учебное пособие / С. М. Ландо. – Санкт-Петербург : СПбГИКиТ, 2018. – 390 с.

УДК 316.356.2

ФИЛОСОФСКО-СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ СЕМЬИ

Козырев М.А., аспирант ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан»;
ORCID: 0009-0008-3247-1831;
E-mail: kozyrev_01@mail.ru;
Шангареева З.С., д.с.н., научный руководитель ОСП «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
E-mail: zilyana2008@yandex.ru

PHILOSOPHICAL AND SOCIOLOGICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF DIGITAL TECHNOLOGIES ON FAMILY DEVELOPMENT

Kozyrev M.A., postgraduate student of the Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0009-0008-3247-1831;
E-mail: kozyrev_01@mail.ru;
Shangareeva Z.S., Doctor of Sociological Sciences, Scientific Supervisor, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
E-mail: zilyana2008@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена философско-социологическому осмыслению влияния цифровых технологий на развитие семьи в условиях формирования новой виртуальной социальной среды, характеризующейся распространением искусственного интеллекта.

Цель исследования заключается в выявлении и теоретико-эмпирическом анализе возможных последствий воздействия цифровых технологий на социальный институт семьи.

Теоретико-методологическую основу исследования составили положения философии М. Хайдеггера о сущности техники, концепция власти и социального контроля М. Фуко, теория симулякров Ж. Бодрийяра и подход к анализу сетевого общества М. Кастельса. Особое внимание уделяется изменению семейных отношений и механизмов воспитания подрастающего поколения под воздействием цифровых технологий. В статье представлены результаты

авторского социологического исследования, позволяющие выявить роль цифровых источников в формировании представлений о традиционных семейных ценностях молодёжи. Сделан вывод о двойственном характере цифровизации: наряду с расширением возможностей упорядочивания социальной жизни современные технологии создают институциональные риски для традиционных семейных отношений, механизмов социализации и коммуникации, что обусловливает необходимость научного и этического регулирования цифровой среды.

Ключевые слова: цифровые технологии, социальные институты, сетевое общество, социализация, семья, семейные отношения, молодёжь

Abstract

This article explores the philosophical and sociological impact of digital technologies on family development in the context of the emergence of a new virtual social environment characterized by the spread of artificial intelligence.

The aim of the study is to identify and theoretically and empirically analyze the possible consequences of digital technologies' impact on the social institution of family.

The theoretical and methodological framework of the study is based on Heidegger's philosophical propositions on the essence of technology, Foucault's concept of power and social control, Baudrillard's theory of simulacra, and Castells's approach to analyzing the network society. Particular attention is paid to the changes in family relationships and mechanisms for raising the younger generation under the influence of digital technologies. The article presents the results of the author's sociological research, which reveals the role of digital sources in shaping young people's perceptions of traditional family values. It concludes that digitalization has a dual nature: while expanding opportunities for organizing social life, modern technologies create institutional risks for traditional family relationships, mechanisms of socialization, and communication, necessitating scientific and ethical regulation of the digital environment.

Keywords: digital technologies, social institutions, network society, socialization, family, family relationships, youth

Введение

Развитие научно-технической сферы в XXI веке определило цифровые технологии и информацию в качестве важнейших ресурсов социально-экономического развития и факторов конкурентоспособности государств в условиях глобальной международной среды. Цифровые технологии повсеместно проникли в повседневную жизнь людей, сформировав виртуальное пространство в качестве альтернативной социальной реальности, в которой функционируют люди вне зависимости от географического расположения. По данным Международного союза электросвязи за 2025 год, во всём мире около 6 млрд. человек пользуются сетью интернет, что составляет примерно три четверти населения планеты, в то же время в странах региона СНГ доля пользователей сети интернет составила – 93% от общего числа жителей [1]. В России развитие цифровых технологий осуществляется, в частности, в рамках национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства», предусматривающего развитие цифровых платформ, повышение доступности электронных государственных услуг и совершенствование информационной инфраструктуры. По данным Росстата, в 2025 году доля предприятий, использовавших цифровые технологии, составила – 83,5% от общего числа обследованных субъектов [2].

Масштабное распространение цифровых технологий оказывает существенное влияние на функционирование традиционных социальных институтов, включая семью. В философско-социологическом анализе социальный институт семьи рассматривается не только как первичная ячейка и устойчивая форма организации общественной жизни, но и как совокупность норм, ценностей, ролей и наделяемых индивидами смыслов, воспроизводимых в процессе взаимодействия членов семьи.

В виртуальном пространстве происходит распространение и закрепление определённых моделей поведения, что видоизменяет социальную структуру. Цифровизация государственных услуг, распространение технологий искусственного интеллекта, цифровых средств массовой коммуникации и виртуальных сообществ, спутникового интернета и роботизированных систем свидетельствуют о формировании качественно новой среды социальных взаимодействий, затрагивающей в первую очередь институт семьи. В этих условиях возникает необходимость философско-социологического анализа влияния цифровых технологий на взаимоотношения и развитие семьи.

Противоречие

С одной стороны, цифровые технологии направлены на совершенствование различных сфер общественной жизни, повышение доступности государственных и социальных услуг, оптимизацию процессов управления, развитие системы образования, расширение коммуникационных возможностей и обеспечение технологического суверенитета государства. С другой стороны, масштабная цифровизация сопровождается зависимостью от технологической инфраструктуры и возникновением потенциальных социальных рисков, затрагивающих структуру и функционирование социальных институтов. В сфере государственного управления применение цифровых технологий проявляется в усилении централизации и цифрового контроля, в образовании – в замещении непосредственного взаимодействия электронными форматами, в семейной сфере – в изменении характера родительского воспитания и механизмов социализации детей.

Методика

Методологическую основу исследования составили положения философско-социологических концепций зарубежных учёных, а также научные труды отечественных авторов, посвященные анализу современных общественных трансформаций. Для анализа развития социальных институтов под воздействием цифровых технологий использованы общенаучные методы анализа, синтеза, сравнения и обобщения, а также системный и институциональный подходы. Эмпирическую основу исследования составили данные статистических материалов, научные труды отечественных авторов, аналитический отчёт ВЦИОМ, а также результаты авторского социологического опроса.

Основная часть

Современные цифровые преобразования общества являются результатом длительного технологического развития, сопровождавшегося историческим переходом от третьей к четвёртой промышленной революции. Данный этап характеризуется интеграцией цифровых технологий, искусственного интеллекта и автоматизированных систем в различные сферы общественной и экономической деятельности. Общество и его ключевые социальные институты вынуждены функционировать в режиме непрерывной адаптации к стремительным темпам роста экономики и цифровых технологий, которые опережают научное осмысление социальных последствий их внедрения и формирование соответствующих нормативных и институциональных механизмов регулирования.

Значительный вклад в философское осмысление онтологии техники внёс немецкий философ XX века М. Хайдеггер. Учёный предложил рассматривать технику не как нейтральные инструменты, служащие для достижения целей человеческой деятельности, а как особый способ понимания и раскрытия потаённой сущности мира, в котором сам человек оказывается подчинённым этому процессу [3]. В условиях развития современной техники человек оказывается включённым в систему технических отношений, в которой природный мир, социальные процессы и сам человек начинают восприниматься преимущественно как ресурс, подлежащий рациональному использованию и управлению. Тем самым возникает риск обратного отношения между человеком и техникой: созданные человеком технические системы начинают определять способы его деятельности, мышления и организации жизни.

Последовательное развитие цифровых технологий создало предпосылки для формирования социальных структур вокруг электронных информационных сетей. Одним из современных социологов, исследовавших развитие общества под воздействием информационных и коммуникационных технологий, является М. Кастельс. В рамках своей концепции информационного общества учёный вводит понятие «сетевого общества», характеризующегося доминированием пространства потоков, где осуществляется получение, хранение и обработка информации и символическая коммуникация. По мнению М. Кастельса, сетевое общество «создано сетями производства, власти и опыта, которые образуют культуру виртуальности в глобальных потоках, пересекающих время и пространство» [4, с. 505]. Государственное управление выходит за традиционные рамки национальных границ, взаимодействуя с международными правительственными организациями и транснациональными корпорациями, интегрированными во всеобщую мировую сеть по разработке и реализации глобальных стратегий развития и контролируемыми центрами однополярного мироустройства.

Динамизм сетевого общества связан с переходом от материальных к информационным и символическим формам конструирования социальной реальности. Виртуальная среда при этом формирует «гиперреальность», в которой симулякры конструируют жизнедеятельность людей, не имея реального физического состояния. С точки зрения французского представителя постнеклассической социологической науки Ж. Бодрийяра, симуляции понимаются «в том смысле, что теперь все знаки обмениваются друг на друга, но не обмениваются больше ни на что реальное» [5, с. 52]. Информационные потоки создают всё большее число знаков и символов, где виртуальные образы, как копии, не имеющие оригинала, формируют общественное представление о должном, желательном и допустимом. Социальные сети становятся одним из наиболее значимых пространств производства и циркуляции символических образов, способных влиять на восприятие социальной действительности.

Теория развития моделей государственного управления также прошла становление с развитием технологий от концепции «рациональной бюрократии» М. Вебера до политических сетей и виртуального государства. Сетевая модель характеризуется представлением государства как одного из многочисленных элементов многофункциональной системы, без определённой регламентации и неиерархических взаимодействий. Следовательно, как отмечает российский учёный И. Б. Орлов, «государство не мыслится как независимое целое» [6, с. 100]. Концепция виртуального государства опирается на цифровые технологии, обеспечивающие функционирование электронного правительства и всех органов власти, причём основным каналом взаимодействия становится интернет. Благодаря современным технологиям повышается доступность государственных услуг для граждан вне зависимости от их местонахождения, что может способствовать повышению качества жизни населения и расширению возможностей государственной поддержки семьи. Однако, с другой стороны, цифровизация может приводить к цифровой централизации власти, протекающей в условиях дегуманизации и формализации традиционного социального устройства.

Анализируя эволюцию механизмов легитимации власти, французский философ и психолог М. Фуко рассматривал меры принуждения и наказания в исторической ретроспективе. Учёный выделял в качестве первого этапа физическое воздействие на тело преступника посредством публичных наказаний. С усложнением государственных институтов объектом принуждения стало духовное и внутреннее состояние человека, изолируемого в специализированных учреждениях. Фуко писал, что «это возникновение новой формы «закона»: смеси законности и природы» [7, с. 447–448]. Индустриальная эпоха породила феномен «биовласти» – стратегию управления обществом как единым живым организмом, посредством научного регулирования демографических процессов. В условиях цифровизации отдельные механизмы социального контроля получают технологическое развитие в форме цифрового мониторинга и алгоритмической обработки данных о поведении людей.

Экспансия цифровых технологий охватывает один из базовых социальных институтов общества – семью, превращая повседневное семейное пространство в объект технологического и сетевого воздействия, что подтверждается статистическими показателями. По данным серии ежегодных статистических сборников ИСИЭЗ НИУ ВШЭ в 2024 году у 87% респондентов в возрасте от 14 лет и старше в семье есть как минимум один смартфон, а доля детей в возрасте до 15 лет, использующих интернет практически ежедневно, среди обучающихся в общеобразовательных организациях составила – 81% от числа опрошенных [8].

Современный человек посредством цифровых технологий получает доступ к широкому многообразию культурных образцов, моделей поведения и жизненных стратегий. Если в традиционном обществе ценности и идеалы преимущественно передавались через институты семьи, образования, религии, то в информационном обществе к ним добавляется глобальная цифровая среда.

Специфику влияния медиасреды на молодёжь отражают результаты авторского социологического исследования, проведённого в г. Казани в 2025 году, среди 162 респондентов в возрасте 18–30 лет, из которых женщины составили – 53,7%, а мужчины – 46,3%. В ходе исследования респондентам был предложен вопрос с возможностью выбора нескольких вариантов ответа об источниках, повлиявших на формирование их представлений о традиционных семейных ценностях. Абсолютное большинство опрошенных выбрали семью в качестве главного источника – 74,7% (73,3% мужчин и 75,9% женщин). В частности, СМИ в качестве источника отметили 13,0% респондентов (10,7% мужчин и 14,9% женщин), социальные сети и интернет указал каждый пятый опрошенный – 21,0% (16,0% мужчин и 25,3% женщин), а блогеров выбрали 3,7% участников опроса (1,3% мужчин и 5,7% женщин). Результаты опроса свидетельствуют о том, что, несмотря на интенсивное расширение цифрового пространства, первичным и доминирующим источником трансляции ценностей для молодёжи остаётся семья. В то же время социальные сети и интернет как источники формирования представлений о семейных ценностях были указаны респондентами в 1,6 раза чаще, чем традиционные СМИ, причём данная тенденция более отчётливо выражена среди женщин.

Модернизация трудовой деятельности под воздействием цифровых технологий, а также распространение систем оценки эффективности формируют современную трудовую культуру, ориентированную на постоянное повышение результативности и профессиональной эффективности, усиливая значение карьерной и экономической самореализации по отношению к семейным стратегиям. Непрерывные информационные коммуникации, участие в рабочих конференциях и возможность взаимодействия за пределами установленного рабочего времени создают условия для расширения трудовой деятельности. В настоящей статье данный процесс предлагается обозначить как «капитализацию жизненного цикла человека», под которой понимается тенденция к подчинению всё большего числа сфер повседневной жизнедеятельности логике эффективности, производительности и накопления экономического и профессионального капитала.

Согласно данным опроса аналитического центра ВЦИОМ, проведённого в 2026 году, создание семьи в структуре жизненных приоритетов молодёжи от 14–24 лет занимает предпоследнее место, а каждый второй молодой россиянин в возрасте 25–29 лет испытывает неуверенность и сомнения в достижении своих целей [9]. Молодые люди, в том числе в более старшем возрасте 25–35 лет, прежде всего стремятся к карьерной самореализации, материальному благополучию и сохранению здоровья.

Особенно значимым является влияние цифровой среды на процесс социализации детей. Чрезмерная вовлечённость детей в цифровую среду при недостаточном участии родителей в воспитании может оказывать негативное влияние на нормативно-ценностное формирование личности ребёнка. Российские исследователи Г.У. Солдатова и О.И. Теславская в ходе анализа отечественных и зарубежных научных работ, посвященных влиянию цифровых технологий на воспитание детей, пришли к выводу «об отрицательном воздействии экранного

времени на когнитивное развитие, субъективное благополучие, эмоциональную сферу, поведенческую адаптивность дошкольников» [10, с. 13]. В исследовании, проведённом авторами в 2017–2019 гг. среди 100 семей с детьми в возрасте от 5 до 11 лет, проживающих в Москве и Московской области, отмечается, что 59% опрошенных детей в ситуации выбора между цифровым устройством и совместным досугом с родителями предпочли бы игру со взрослыми [10, с. 22]. Приведённые данные демонстрируют уязвимость подрастающего поколения перед воздействием цифровых технологий. Это актуализирует необходимость формирования комплексного регулирования использования электронных устройств детьми как внутри семьи, так и на государственном уровне.

Технологическое развитие не должно рассматриваться в отрыве от научного знания. Наука и технологии представляют взаимосвязанные элементы общественного развития: научные открытия формируют основу технологических инноваций, а технологические достижения, в свою очередь, расширяют возможности научного исследования. Отставание технологического развития от научных достижений ограничивает практическую реализацию научного потенциала, тогда как внедрение технологий без достаточного научного и социально-этического обоснования способно порождать новые общественные риски. Поэтому развитие цифровых технологий должно опираться на результаты научных исследований, учитывать социальные последствия их применения и соответствовать общественным потребностям.

Заключение

Таким образом, цифровые технологии в современном обществе следует рассматривать не только как технический инструмент модернизации, но и как самостоятельный социокультурный фактор, оказывающий влияние на структуру и функционирование социальных институтов. Формирование сетевого общества сопровождается расширением виртуального пространства, в котором семейные отношения приобретают новые формы, а цифровые платформы становятся значимыми каналами производства и распространения информации, норм и моделей поведения.

Одной из приоритетных задач является обеспечение баланса между технологической эффективностью, информационной безопасностью и сохранением человеческой автономии. Расширение возможностей цифрового мониторинга требует формирования соответствующих научных и этических рамок, препятствующих превращению цифровых технологий из инструмента общественного развития в механизм социальной деструкции.

Особое значение цифровые технологии приобретают в отношении семьи как базового социального института. Социальные сети и цифровые платформы выступают новыми механизмами коммуникации, влияющими на формирование ценностей и идеалов подрастающего поколения.

Цифровые технологии должны служить средством повышения качества общественной жизни, не подменяя фундаментальные социальные институты и человеческое взаимодействие. Сохранение значимости семьи, непосредственной коммуникации, воспитания, образования и других механизмов социальной интеграции предполагает не отказ от цифровизации, а выработку форм её регулирования, при которых технологическое развитие сочетается с сохранением ценностных оснований общества.

Список литературы

1. Facts and Figures 2025: press release // International Telecommunication Union (ITU): официальный сайт. – 2025. – URL: https://www.itu.int/ru/mediacentre/Pages/PR-2025-11-17-Facts-and-Figures.aspx (дата обращения: 10.08.2026). – Текст: электронный.

2. Наука, инновации и технологии // Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. – URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/science (дата обращения: 15.08.2026). – Текст: электронный.

3. Heidegger, M. The Question Concerning Technology // The Question Concerning Technology and Other Essays / M. Heidegger. – New York: Harper & Row, 1977. – P. 3–35.

4. Кастельс, М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс; перевод с английского под редакцией О.И. Шкаратана. – Москва: ГУ ВШЭ, 2000. – 608 с. – ISBN 5-7598-0069-8.

5. Бодрийяр, Ж. Символический обмен и смерть / Ж. Бодрийяр; перевод с французского С. Н. Зенкина. – Москва: Добросвет, 2000. – 387 с. – ISBN 5-7913-0047-6.

6. Орлов, И. Б. Современные теоретические и методологические доктрины (модели) государственной политики и управления / И. Б. Орлов // Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование. – 2013. – Т. 6, № 4. – С. 95-104.

7. Фуко, М. Надзирать и наказывать. Рождение тюрьмы / М. Фуко; перевод с французского В. Наумова; под редакцией И. Борисовой. – Москва: Ad Marginem, 1999. – 480 с. – ISBN 5-93321-010-2.

8. Цифровая экономика: 2026: краткий статистический сборник / В.Л. Абашкин, Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневский, Л.М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – Москва: ИСИЭЗ ВШЭ, 2026. – 132 с. – ISBN 978-5-7598-3045-0.

9. Создание семьи оказалось на предпоследнем месте в приоритетах молодежи // Ведомости: сайт. URL: https://www.vedomosti.ru/society/articles/2026/08/27/1223999-sozdanie-semi-okazalos-na-predposlednem-meste-v-prioritetah-molodezhi (дата обращения: 28.08.2026). – Текст: электронный.

10. Солдатова, Г. У. Особенности использования цифровых технологий в семьях с детьми дошкольного и младшего школьного возраста / Г. У. Солдатова, О. И. Теславская // Национальный психологический журнал. – 2019. – Т. 4, № 4(36). – С. 12-27. – DOI 10.11621/npj.2019.0402.

УДК 02:004.8

ТРАНСФОРМАЦИЯ БИБЛИОТЕЧНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И МЕХАНИЗМЫ ЭТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Логинова О.А., ведущий библиотекарь, преподаватель ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

TRANSFORMATION OF LIBRARY AND INFORMATION ACTIVITIES IN THE CONTEXT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY IMPLEMENTATION: STRATEGIC PERSPECTIVES AND ETHICAL REGULATION MECHANISMS

Loginova O.A., leading librarian, teacher Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

Стремительное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) обусловливает необходимость переосмысления роли библиотечных учреждений в современном информационном обществе. В статье рассматриваются стратегические направления интеграции ИИ в библиотечно-информационную деятельность, анализируются ключевые технологические решения, применяемые в ведущих библиотечных системах мира, а также выявляются системные риски, сопряжённые с автоматизацией библиотечных процессов. Особое внимание уделяется проблемам формирования нормативно-правовой базы в сфере применения ИИ, включая вопросы защиты персональных данных пользователей, алгоритмической прозрачности и ответственности участников взаимодействия. Предложены концептуальные подходы к выстраиванию этической культуры внутри библиотечных организаций, разработке корпоративных

регламентов использования ИИ-технологий и профессиональной подготовке библиотечных специалистов. Делается вывод о том, что устойчивое развитие библиотек в цифровую эпоху возможно лишь при соблюдении баланса между технологическими инновациями и принципами гуманизма, открытости и социальной ответственности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, библиотечно-информационная деятельность, этическое регулирование, алгоритмическая прозрачность, защита персональных данных, цифровая трансформация, профессиональная компетентность

Abstract

The rapid development of artificial intelligence (AI) technologies necessitates a rethinking of the role of library institutions in the modern information society. The article examines strategic directions for integrating AI into library and information activities, analyzes key technological solutions used in leading library systems worldwide, and identifies systemic risks associated with the automation of library processes. Particular attention is paid to the problems of forming a regulatory framework in the field of AI application, including issues of personal data protection of users, algorithmic transparency and the responsibility of interaction participants. Conceptual approaches to building an ethical culture within library organizations, developing corporate regulations for the use of AI technologies, and professional training of library specialists are proposed. It is concluded that the sustainable development of libraries in the digital age is only possible when balancing technological innovations with the principles of humanism, openness and social responsibility.

Keywords: artificial intelligence, library and information activities, ethical regulation, algorithmic transparency, personal data protection, digital transformation, professional competence

Введение

Современное библиотечное дело переживает один из наиболее значимых периодов своей трансформации за всю историю существования. Информационный взрыв, обусловленный развитием цифровых технологий, колоссальный прирост объёмов научных публикаций, изменение читательских практик и ожиданий пользователей – всё это формирует принципиально новую среду функционирования библиотечных учреждений. В данном контексте технологии искусственного интеллекта превращаются из факультативного инструмента в стратегически необходимый элемент модернизации библиотечной инфраструктуры [2, 7].

Вместе с тем внедрение ИИ в библиотечное дело нельзя рассматривать исключительно через призму технологической эффективности. Библиотеки как социальные институты несут особую ответственность перед обществом: они призваны обеспечивать равный доступ к информации, защищать интеллектуальную свободу граждан и формировать критическое мышление. Автоматизация ключевых процессов при отсутствии надлежащего этического контроля способна нанести серьёзный ущерб выполнению этих функций [9].

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью комплексного осмысления возможностей и ограничений ИИ-технологий применительно к библиотечной сфере, а также разработки механизмов этического регулирования, способных обеспечить ответственное и социально ориентированное применение искусственного интеллекта в библиотечно-информационной практике [1].

Цель статьи – проанализировать стратегические направления применения ИИ в библиотечной деятельности, систематизировать ключевые этические проблемы, возникающие в процессе такого внедрения, и предложить концептуальную основу для формирования системы этического регулирования ИИ в библиотечной среде.

1. Технологические направления применения искусственного интеллекта в библиотечном деле

Спектр практических применений ИИ в современных библиотеках весьма широк и продолжает расширяться по мере совершенствования технологий. Одним из наиболее значимых

направлений является интеллектуализация поиска в библиотечных фондах. Традиционные системы поиска, основанные на совпадении ключевых слов, уступают место семантическим поисковым системам, способным понимать контекст запроса, выявлять смысловые связи между концептами и формировать релевантную выдачу даже при нечётко сформулированном запросе пользователя. Применение методов обработки естественного языка позволяет существенно снизить когнитивную нагрузку на пользователя при работе с каталогом [4, 11].

Другим перспективным направлением является автоматическая каталогизация и классификация документов. Системы машинного обучения, обученные на больших массивах библиографических данных, способны с высокой степенью точности присваивать документам классификационные индексы, выделять ключевые слова и формировать аннотации. Это позволяет существенно сократить трудозатраты на обработку новых поступлений и ускорить ввод документов в научный оборот [2, 7]. Автоматизация рутинных операций каталогизации освобождает рабочее время библиотечных специалистов для решения более сложных профессиональных задач, требующих экспертного суждения.

Системы персонализированных рекомендаций, функционирующие на основе алгоритмов коллаборативной и контентной фильтрации, открывают качественно новые возможности для ориентирования читателей в библиотечных фондах. Анализируя историю обращений конкретного пользователя и сравнивая её с паттернами поведения схожих аудиторий, такие системы способны предлагать актуальные материалы ещё до того, как у пользователя сформируется осознанный запрос [5]. Реализация подобного подхода способствует более полному раскрытию библиотечных фондов и стимулирует читательскую активность.

Применение ИИ в области библиометрического анализа и мониторинга информационного пространства открывает перед библиотеками академического сектора принципиально новые возможности для поддержки научной деятельности. Автоматизированный анализ цитирований, выявление возникающих исследовательских направлений, построение карт научного знания – всё это позволяет библиотекам выступать в роли аналитических центров, снабжающих исследователей и администрацию ценной информацией о состоянии и динамике научных областей [4].

Существенный потенциал имеет применение ИИ в области сохранения и реставрации документального наследия. Алгоритмы компьютерного зрения способны выявлять и распознавать повреждённые фрагменты рукописей, ретушировать дефекты оцифрованных изображений и реконструировать утраченные участки текста. Это открывает новые возможности для обеспечения долговременной сохранности культурного наследия, хранящегося в библиотечных фондах [1].

2. Системные риски и проблемы, связанные с внедрением ИИ в библиотечную деятельность

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение искусственного интеллекта в библиотечную практику сопряжено с целым рядом серьёзных проблем, игнорирование которых способно повлечь значительные негативные последствия как для отдельных пользователей, так и для общества в целом.

Первостепенной по значимости является проблема защиты персональных данных пользователей. Библиотеки традиционно выступают гарантами конфиденциальности интеллектуальной деятельности своих читателей, и это положение закреплено в профессиональных этических кодексах библиотечного сообщества по всему миру. Внедрение ИИ-систем, функционирующих на основе детального анализа пользовательского поведения, вступает в потенциальное противоречие с этим принципом. Сведения о том, какие материалы запрашиваются, изучаются или скачиваются в библиотеке, могут раскрывать крайне чувствительную информацию о политических взглядах, религиозных убеждениях, состоянии здоровья и личной жизни человека [6]. В контексте действующего законодательства о защите информации [5] библиотеки несут юридическую ответственность за надлежащее хранение и обработку

персональных данных пользователей, что требует от них тщательного аудита всех внедряемых ИИ-решений с точки зрения соответствия требованиям информационной безопасности.

Серьёзную угрозу представляет проблема алгоритмической предвзятости. Системы машинного обучения обучаются на исторических данных, которые нередко отражают существующие социальные неравенства и предрассудки. Если обучающий массив данных содержит систематические перекосы – например, недостаточно широко представляет публикации авторов из определённых этнических групп, регионов или научных школ, – то и порождённые на их основе алгоритмы будут воспроизводить эти перекосы в своих рекомендациях и результатах классификации [10]. Для библиотек, призванных обеспечивать равный доступ к многообразию информации, подобная ситуация категорически неприемлема.

Не менее острой является проблема информационных пузырей. Алгоритмы персонализации, последовательно предлагающие пользователю материалы на основе его предыдущих предпочтений, объективно сужают информационный горизонт читателя и могут препятствовать его знакомству с новыми идеями, альтернативными точками зрения и неожиданными открытиями [6]. Это противоречит самой природе библиотеки как пространства свободного и разнообразного интеллектуального поиска.

Вопросы юридической ответственности при использовании ИИ в библиотечной практике остаются в значительной мере неурегулированными. Когда ИИ-система выдаёт ошибочную рекомендацию, предоставляет неверную информацию или принимает решение, ущемляющее интересы пользователя, возникает вопрос о разграничении ответственности между разработчиком системы, библиотечным учреждением и конкретным специалистом [1]. Отсутствие чёткой нормативной базы в данной области создаёт правовую неопределённость, потенциально опасную для всех участников взаимодействия.

Нельзя обойти стороной и проблему цифрового неравенства. Внедрение передовых ИИ-решений требует значительных финансовых вложений в инфраструктуру, программное обеспечение и повышение квалификации персонала [10]. В условиях хронического недофинансирования значительной части библиотечных учреждений это грозит созданием глубокого разрыва между библиотеками, располагающими ресурсами для освоения инноваций, и теми, кто оказывается в ситуации технологического отставания.

3. Концептуальные основы этического регулирования искусственного интеллекта в библиотечной сфере

Формирование системы этического регулирования ИИ в библиотечной деятельности требует комплексного подхода, охватывающего несколько взаимосвязанных уровней.

На уровне международных нормативных документов необходимо принять во внимание Рекомендацию ЮНЕСКО по этическим аспектам ИИ, принятую в 2021 году при участии 193 государств-членов [8]. Данный документ формулирует ключевые принципы ответственного применения ИИ: уважение прав человека и основных свобод, обеспечение многообразия и инклюзивности, сохранение мирной среды и биосферы, обеспечение безопасности и защиты, принципы права на неприкосновенность частной жизни, верховенства права, прозрачности и подотчётности [8]. Применительно к библиотечной деятельности каждый из этих принципов приобретает конкретное содержание, требующее специальной интерпретации и операционализации.

На институциональном уровне библиотечным организациям следует разработать собственные политики применения ИИ, опирающиеся на международные стандарты и национальное законодательство в области защиты информации [2, 5]. Такие документы должны чётко определять допустимые случаи сбора и обработки пользовательских данных, устанавливать процедуры аудита используемых алгоритмов на предмет наличия предвзятости, регламентировать порядок информирования пользователей о применяемых ИИ-технологиях и механизмах принятия автоматизированных решений [3, 6].

Принцип алгоритмической прозрачности должен стать обязательным стандартом при внедрении ИИ в библиотечные системы. Пользователи имеют право знать, что их данные используются для персонализации услуг, каким образом функционируют рекомендательные алгоритмы и какие критерии лежат в основе формируемых ими предложений [3]. Обеспечение этой прозрачности не только способствует формированию доверия к библиотечным ИИ-сервисам, но и позволяет пользователям осознанно управлять своим информационным поведением.

Ответственность разработчиков ИИ-систем должна быть оформлена в виде чётких договорных обязательств при заключении контрактов на поставку или разработку технологических решений для библиотек [10]. Библиотечные учреждения должны настаивать на включении в соответствующие договоры положений об обязательном тестировании систем на предмет алгоритмической предвзятости, регулярном аудите функционирования алгоритмов и прозрачности методологии обучения используемых моделей.

Вопросы интеллектуальной собственности приобретают особую остроту в контексте использования ИИ для анализа и обработки библиотечных фондов [3]. В ситуации, когда алгоритмы обучаются на охраняемых авторским правом произведениях или генерируют производные материалы на их основе, возникают сложные правовые коллизии, разрешение которых требует активного взаимодействия библиотечного сообщества с законодательными органами и правообладателями.

4. Профессиональная подготовка библиотечных специалистов в условиях технологической трансформации

Ни одна стратегия этически ответственного применения ИИ не может быть реализована без надлежащего профессионального образования библиотечных специалистов. Современный библиотекарь должен обладать не только традиционными профессиональными компетенциями, но и развитой цифровой грамотностью, позволяющей критически оценивать возможности и ограничения внедряемых технологических решений [2, 7].

Программы повышения квалификации должны включать как технические аспекты функционирования ИИ-систем (базовые принципы машинного обучения, подходы к оценке качества алгоритмов), так и гуманитарные составляющие (этические принципы применения ИИ, нормативно-правовые основы защиты данных, методы критического анализа алгоритмических систем). Библиотечные специалисты должны уметь вести квалифицированный диалог с разработчиками технологических решений, отстаивая интересы пользователей и соблюдение профессиональных этических норм [4].

Профессиональные ассоциации, в частности Международная федерация библиотечных ассоциаций и учреждений (ИФЛА), играют ключевую роль в формировании отраслевых стандартов применения ИИ и организации профессионального обучения [4, 11]. Принятые ими руководящие принципы и методические рекомендации создают основу для согласованного подхода к этически ответственному внедрению технологий в практику библиотечных учреждений разных стран.

Особое значение приобретает формирование в библиотечных коллективах подлинной этической культуры – системы ценностей, убеждений и поведенческих норм, при которых этические соображения органично интегрированы в повседневную профессиональную практику, а не воспринимаются как внешние формальные ограничения [9]. Создание такой культуры предполагает регулярное проведение внутриорганизационных дискуссий об этических дилеммах, возникающих при работе с ИИ, и формирование механизмов обратной связи, позволяющих выявлять и корректировать проблемные ситуации.

Заключение

Проведённый анализ позволяет сделать ряд выводов концептуального характера. Интеграция технологий искусственного интеллекта в библиотечно-информационную деятель-

ность является объективной тенденцией, обусловленной как внутренними потребностями развития библиотечного дела, так и широким запросом общества на более эффективный доступ к информации и знаниям. Игнорирование этой тенденции чревато утратой библиотечными учреждениями своих позиций в информационной экосистеме цифрового общества.

Вместе с тем ответственное внедрение ИИ в библиотечную практику требует формирования многоуровневой системы регулирования, охватывающей международно-правовой, национально-законодательный, институциональный и профессионально-этический уровни. Ключевыми принципами такого регулирования должны выступать алгоритмическая прозрачность, защита персональных данных пользователей, противодействие алгоритмической предвзятости и чёткое разграничение ответственности между участниками технологического взаимодействия [10].

Библиотеки, последовательно придерживающиеся этих принципов, способны стать не просто потребителями технологических инноваций, но активными субъектами формирования стандартов ответственного применения ИИ в широком культурно-образовательном контексте. Именно в этой роли – хранителей не только документального, но и ценностного наследия человечества – состоит уникальная миссия библиотечных учреждений в условиях технологической трансформации современного общества [9].

Дальнейшие исследования в данной области целесообразно направить на разработку конкретных инструментов аудита этичности библиотечных ИИ-систем, формирование показателей оценки качества внедряемых решений с точки зрения соответствия профессиональным этическим стандартам, а также изучение лучших международных практик в данной сфере с целью адаптации релевантного опыта к условиям конкретных национальных библиотечных систем.

Список литературы

1. Артеменкова, В. Н. Этические аспекты использования искусственного интеллекта в библиотечной деятельности / В. Н. Артеменкова // Библиотечная и книжная культура в контексте истории и современности региона : Сборник статей 2-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Смоленск, 28 марта 2025 года. – Смоленск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 11-16.

2. Заборовская, С. В. Искусственный интеллект в библиотечно-информационной деятельности / С. В. Заборовская, Г. В. Матвеева // Библиотечно-информационное образование в условиях динамично развивающегося мира. – Казань : ООО «Редакционно-издательский центр “Школа”», 2025. – С. 230-266.

3. Кожевников, Н. Н. Этические аспекты искусственного интеллекта / Н. Н. Кожевников, В. С. Данилова // Наука и техника в Якутии. – 2020. – № 2 (39). – С. 28-31.

4. Литвинова, Н.Н. Международное библиотечное сообщество об использовании технологий искусственного интеллекта в библиотеках // Российская национальная библиотека : [сайт]. Раздел: Профессионалам библиотечного дела. – URL: https://nlr.ru/nlr_pro/dep/artupload/pro/article/RA8442/NA84068.pdf?ysclid=mtgcrr7tnz252524362.

5. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ // Собр. законодательства РФ. – 2006. – № 31.– С. 34-48.

6. Родионова, З. В. Защита персональных данных «цифрового» гражданина в библиотеке / З. В. Родионова, Л. К. Бобров, И. П. Медянкина // Библиосфера. – 2018. – № 4. – С. 101-105.

7. Цифровая трансформация библиотек: надежды и реальность // Университетская книга. – 2025. – № 5. – URL: https://www.unkniga.ru/ostraya-tema/tsifrovaia-transformatsiia-bibliotek-nadezhdy-i-realnost.html?ysclid=mtc1ay0av6373431053.

8. Этические аспекты искусственного интеллекта: рекомендации // ЮНЕСКО [сайт]. – URL: https://www.unesco.org/ru/artificial-intelligence/recommendation-ethics.

9. Floridi, L. The Ethics of Artificial Intelligence / L. Floridi // Minds and Machines. – 2020. – Vol. 30, № 4. – P. 705–710.

10. Bryson, J. J. The Past, Present, and Future of AI Ethics / J. J. Bryson // Ethics and Information Technology. – 2019. – Vol. 21, № 2. – P. 121–126.

11. IFLA Statement on libraries and artificial intelligence : [official website] // International Federation of Library Associations and Institutions (IFLA). – URL: https://repository.ifla.org/handle/123456789/1646.

УДК 004.8:316.77:008

ТРАНСФОРМАЦИЯ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В ЭПОХУ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НА МАТЕРИАЛАХ ПРОЕКТОВ КАЗАНИ

Мальков М.Б., соискатель ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры и искусств», преподаватель, руководитель СМИ МБОУ «Школа 12», г. Казань, Россия;
E-mail: malcolmco@mail.ru

TRANSFORMATION OF CULTURAL HERITAGE IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A TECHNOLOGICAL MODEL BASED ON THE PROJECTS OF KAZAN

Malkov M.B., candidate of the Kazan State Institute of Culture and Arts, lecturer, Head of the Media MBOU «School 12», Kazan, Russia;
E-mail: malcolmco@mail.ru

Аннотация

В статье исследуется применение технологий искусственного интеллекта (нейросетей, вычислительного искусства) для сохранения, интерпретации и популяризации культурного наследия. На основе анализа проектов М. Б. Малькова, реализованных в Казани, предложена трехэтапная модель цифровой трансформации. Методология включает сравнительный анализ российских и международных кейсов, контент-анализ нормативных документов и эмпирическое наблюдение за практиками инклюзивного творчества. Ключевые результаты: доказана эффективность ИИ как партнера в совместном творчестве с уязвимыми группами населения; выявлена специфика казанской модели, сочетающей социальную ориентированность и технологическую зрелость; определены этические риски автоматизации культурных процессов. Практическая значимость заключается в возможности тиражирования модели для решения задач инклюзии, патриотического воспитания и цифровизации региональных культурных институций.

Ключевые слова: искусственный интеллект, культурное наследие, нейросети, вычислительное искусство, цифровая трансформация, инклюзивное образование, Татарстан, популяризация культуры

Abstract

The article investigates the application of artificial intelligence technologies (neural networks, computational art) for the preservation, interpretation, and popularization of cultural heritage.

Based on the analysis of projects by M. B. Malkov implemented in Kazan, a three-stage model of digital transformation is proposed. The methodology includes a comparative analysis of Russian and international cases, a content analysis of regulatory documents, and empirical observation of inclusive creative practices. Key findings: the effectiveness of AI as a partner in co-creation with vulnerable populations has been demonstrated; the specificity of the Kazan model, combining social orientation and technological maturity, has been identified; ethical risks of automating cultural processes have been determined. Practical significance lies in the possibility of replicating the model to address challenges of inclusion, patriotic education, and digitalization of regional cultural institutions.

Keywords: artificial intelligence, cultural heritage, neural networks, computational art, digital transformation, inclusive education, Tatarstan, popularization of culture

Объектом исследования выступает процесс цифровой трансформации культурного наследия, предметом – технологические инструменты искусственного интеллекта (далее – ИИ), применяемые для сохранения, интерпретации и популяризации культурных ценностей. Актуальность темы обусловлена глобальным трендом на цифровизацию культуры: мировой рынок креативных индустрий вырос с 16,0 трлн юаней в 2019 г. до 19,5 трлн юаней в 2024 г. [4], а в России обращения к цифровым ресурсам культуры увеличились в 4,5 раза за период 2019–2022 гг. Федеральный проект «Цифровая культура» [2] и Стратегия развития культуры Республики Татарстан [3] создают нормативную базу для внедрения инноваций.

Теоретическую основу составляют работы, исследующие потенциал ИИ в культурной сфере [6, 8, 11], а также отечественные исследования в области вычислительного искусства и нейроэстетики [13–17]. Исследовательский вопрос: каким образом технологические инструменты ИИ могут быть интегрированы в практику работы с культурным наследием для решения социальных задач? Гипотеза: применение ИИ в формате совместного творчества с уязвимыми группами населения позволяет не только сохранять нематериальное наследие, но и формировать новые формы культурного выражения.

Теоретико-методологические основания исследования

Цифровая трансформация культурного наследия представляет собой многомерный процесс, включающий технологическую, социальную и ценностную компоненты. Как отмечают международные эксперты, «искусственный интеллект открывает беспрецедентные возможности для анализа, реконструкции и интерпретации объектов культурного наследия, однако требует разработки этических рамок, обеспечивающих уважение к культурному контексту» [8, с. 12]. В российском контексте этот процесс регулируется Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» [1], который закрепляет возможность использования цифровых технологий в образовательных практиках.

Методологически исследование опирается на концепцию вычислительного искусства как нового вида творчества, где «алгоритмы, модели и данные выступают в качестве художественных материалов» [14, с. 72]. Данная парадигма позволяет рассматривать ИИ не как инструмент автоматизации, а как соавтора в культурном производстве. Важным аспектом является нейроэстетический подход, который «интегрирует данные нейронаук, искусственного интеллекта и художественной практики для анализа механизмов восприятия и создания эстетического опыта» [13, с. 1390].

Технологические инструменты ИИ в практике сохранения культурного наследия

На этапе сохранения ИИ выполняет функцию фиксации и архивирования уникальных культурных форм. Проекты М. Б. Малькова, в рамках которых дети с ментальными нарушениями создают книги при помощи нейросетей, демонстрируют новый подход к сохранению нематериального наследия: «ИИ здесь выступает как технология, способная зафиксировать и заархивировать уникальную информацию, превратив ее в структурированный, долговечный цифровой продукт» [7, с. 1788]. Это соответствует глобальному тренду на использование генеративных моделей для создания «цифровых двойников» культурных объектов [12].

Технической основой таких проектов являются модели диффузии, которые «позволяют восстанавливать и генерировать изображения на основе ограниченных исходных данных, что особенно актуально при работе с детским творчеством, характеризующимся фрагментарностью и абстрактностью» [14, с. 75]. Важно отметить, что применение ИИ в сохранении наследия требует учета этических аспектов: «автоматизированные анализы должны уважать нюансы и сложности, присущие документации и сохранению наследия» [8, с. 18].

Технологический инструмент	Функция в сохранении наследия	Пример применения в проектах М. Б. Малькова
Модели диффузии	Восстановление и генерация изображений	Создание иллюстраций к книге на основе детских рисунков [14]
Нейросимволические системы	Структурирование нарратива	Формирование связного сюжета из фрагментарных детских идей [7]
Мультимодальные модели	Анализ текста и изображения	Интерпретация вербальных и визуальных данных ребенка
Платформы цифрового архивирования	Долгосрочное хранение	Публикация результатов в электронных библиотеках [3]

Интерпретация и популяризация: ИИ как партнер в культурном диалоге

Этап интерпретации представляет наибольший методологический интерес, поскольку требует от ИИ не просто технической обработки данных, но и понимания семантического контекста. «Нейросимволический подход, сочетающий обучение на больших массивах данных с правилами логического вывода, позволяет системе не просто «знать» паттерны, а «понимать» их место в повествовательной цепочке» [14, с. 78]. В проектах создания патриотических клипов ИИ интерпретирует исторические события через призму современного визуального языка, адаптируя контент для поколения Z [17].

Популяризация результатов осуществляется через цифровые платформы, что соответствует тренду на персонализацию и доступность по требованию. «Использование ИИ выступает как мощный маркетинговый и коммуникационный инструмент, позволяющий быстро создавать качественный видеоконтент для социальных сетей» [17, с. 279]. Сравнительный анализ показывает, что казанские проекты отличаются от инфраструктурных инициатив федерального уровня (например, виртуальных концертных залов [2]) фокусом на создании нового культурного продукта, а не только на трансляции существующего.

Критерий сравнения	Федеральные инфраструктурные проекты	Казанские проекты М. Б. Малькова
Основная цель	Доступность существующего контента	Создание нового культурного продукта
Фокус наследия	Материальное (исполнения, экспонаты)	Нематериальное (детское творчество, нарративы)
Роль ИИ	Техническая оптимизация трансляции	Партнер в творческом процессе
Целевая аудитория	Массовый потребитель	Уязвимые группы + широкая публика

Сравнительный анализ: региональная специфика и международный контекст

Татарстан демонстрирует высокий уровень цифровой зрелости (95% в 2024 г.), что создает благоприятную экосистему для инноваций [3]. В отличие от регионов-аутсайдеров, где

уровень оцифровки музейных коллекций не превышает 50%, Татарстан входит в число лидеров цифровой трансформации. Это позволяет реализовывать экспериментальные проекты, такие как инклюзивные инициативы с использованием ИИ.

Международный опыт, представленный проектами ReInHerit [5] и Google Arts & Culture, фокусируется преимущественно на материальном наследии – архитектуре и живописи. «Казанские проекты, напротив, обращены к «малому» и «незамеченному»: детскому творчеству, патриотизму как повседневному опыту» [7, с. 1790]. Это смещает акцент с сохранения «большой культуры» на формирование инклюзивной культурной среды. При этом важно учитывать предупреждение экспертов: «материал, который мог бы опереться на практику, превращается в умозрительные конструкции при отсутствии методологической рефлексии» – данный риск актуален и для применения ИИ в культуре.

Этические вызовы и ограничения применения ИИ в культурной сфере

Интеграция ИИ в культурные процессы сопряжена с рядом этических дилемм. Проблема авторства при совместном творчестве человека и машины остается нерешенной: «Когда ребенок предоставляет идею, ИИ ее интерпретирует, а педагог направляет процесс, распределение авторских прав в такой цепочке крайне затруднительно» [9]. Кроме того, существует риск искажения контекста: «ИИ-системы, обученные на массивах данных, отражающих существующие стереотипы, могут непреднамеренно воспроизводить предвзятые нарративы» [8].

Социально-экономические риски включают возможность усиления цифрового неравенства: «Разработка сложных ИИ-систем требует значительных ресурсов, что может привести к концентрации технологий в крупных институциях в ущерб малым региональным учреждениям» [11]. Для управления этими рисками необходимо опираться на международные этические стандарты, в частности «Рекомендацию по этике искусственного интеллекта» ЮНЕСКО [8], и развивать цифровую грамотность специалистов.

Заключение

Предложенная трехэтапная модель (сохранение → интерпретация → популяризация) демонстрирует эффективность применения ИИ для трансформации культурного наследия, особенно в работе с уязвимыми группами населения.

Казанские проекты М. Б. Малькова представляют уникальную модель, сочетающую социальную ориентированность, инклюзивность и технологическую зрелость, что отличает их как от федеральных инфраструктурных инициатив, так и от международных проектов, фокусирующихся на материальном наследии.

Этические риски применения ИИ в культуре (проблема авторства, искажение контекста, цифровое неравенство) требуют разработки нормативных механизмов и повышения цифровой грамотности специалистов.

Исследование подтверждает гипотезу: ИИ может выступать не только как инструмент автоматизации, но и как полноценный партнер в совместном творчестве, способствуя сохранению нематериального наследия и формированию новых форм культурного выражения. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой методик оценки качества ИИ-генерируемого культурного контента и созданием этических кодексов для цифровых кураторов.

Список литературы

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (с изменениями на 2025 год). – Москва : Просвещение, 2025.

2. Постановление Министерства культуры РФ от 10.09.2021 № 1987 «Об утверждении программы «Цифровая культура»». – Москва : Минкультуры, 2021.

3. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 18.11.2019 № 642 «О стратегии развития культуры Республики Татарстан на 2020–2025 годы». – Казань : Татарстан, 2019.

4. Chen, L. et al. Machine Learning and Deep Learning for Cultural Heritage: A Comprehensive Review // Remote Sensing. – 2026. – Vol. 18, № 4. – P. 628. – DOI: 10.3390/rs18040628. – MDPI.

5. Johnson, A. et al. Reshaping Museum Experiences with AI: The ReInHerit Toolkit // Digital Heritage. – 2025. – Vol. 8, № 7. – P. 277. – DOI: 10.3390/dh8070277. – MDPI.

6. Liu, X. et al. The impact of AI-generated technologies-driven digital cultural heritage on public engagement // Heritage Science. – 2025. – DOI: 10.1038/s40494-025-02148-1. – Nature.

7. Malkov, M. B. The digital Renaissance: the transformation of the cultural heritage in the era of the artificial intelligence / M. B. Malkov // Proceedings of the International Forum Kazan Digital Week – 2025 : collection of materials, Kazan, 17–19 сентября 2025 года. – Kazan : Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2025. – P. 1786–1791. – EDN: LTGBFV.

8. UNESCO. Artificial Intelligence and Culture: Report of the Independent Expert Group on Artificial Intelligence and Culture [Electronic resource]. – Paris : UNESCO Publishing, 2025. – URL: https://www.unesco.org/sites/default/files/medias/fichiers/2025/09/CULTAI_Report%20of%20the%20Independent%20Expert%20Group%20on%20Artificial%20Intelligence%20and%20Culture%20%28final%20online%20version%29%201.pdf (date of access: 15.05.2026).

9. UNESCO. AI and Education: Guidance for Policy-makers [Electronic resource]. – Paris : UNESCO Publishing, 2021. – URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709 (date of access: 15.05.2026).

10. OECD. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. – Paris : OECD Publishing, 2023. – DOI: 10.1787/c9f4b8f7-en.

11. Smith, J. et al. Artificial Intelligence for Sustainable Cultural Heritage // Sustainability. – 2025. – Vol. 17, № 20. – P. 9192. – DOI: 10.3390/su17209192. – MDPI.

12. Zhang, Y. et al. Generative Artificial Intelligence Practices Based on Cultural Heritage // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15, № 23. – P. 12651. – DOI: 10.3390/app152312651. – MDPI.

13. Мальков, М. Б. Нейроэстетика – культура XXI века / М. Б. Мальков // Kazan digital week – 2024 : сборник материалов Международного форума, Казань, 09–11 сентября 2024 года. – Казань : Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2024. – С. 1387–1394. – EDN: BCDIDW.

14. Мальков, М. Б. Вычислительное искусство как новый вид творчества и технологии создания цифрового контента в информационной и образовательной среде / М. Б. Мальков, А. Н. Соломатин // Журналист. Социальные коммуникации. – 2025. – № 2 (58). – С. 69–86. – EDN: AYQTXJ.

15. Мальков, М. Б. Искусственный интеллект в кино: трансформации и визуальные инновации за последние десятилетия / М. Б. Мальков, Т. Э. Курмаев // Молодежь. Наука. культура : материалы студенческой научно-практической конференции, Казань, 15–19 апреля 2024 года. – Казань : Казанский государственный институт культуры, 2024. – С. 87–92. – EDN: RDWQNP.

16. Мальков, М. Б. Инновации искусства в эпоху искусственного интеллекта: проблемы слияния и трансформации / М. Б. Мальков, А. А. Сафин // Международный форум Kazan Digital Week – 2023 : сборник материалов, Казань, 20–22 сентября 2023 года. – Казань : ГБУ «НЦБЖД», 2023. – С. 1074–1078. – EDN: ZHDXCB.

17. Мальков, М. Б. Пользовательский контент в современной коммуникации на примере сверхкороткого метра / М. Б. Мальков // Динамика медиасистем. – 2025. – Т. 5, № 2. – С. 275–283. – DOI: 10.47475/2949-3390-2025-5-2-275-283. – EDN: QCJNNF.

УДК 378.1:338.46

КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПРОФИЛЬ СПЕЦИАЛИСТОВ ТВОРЧЕСКИХ ПРОФЕССИЙ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ КРЕАТИВНЫХ ИНДУСТРИЙ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ОБРАЗОВАНИЯ, БИЗНЕСА И ГОСУДАРСТВА

Малькова А.Н., заместитель руководителя Центра прототипирования ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

COMPETENCY PROFILE OF SPECIALISTS IN CREATIVE PROFESSIONS IN THE CONTEXT OF CREATIVE INDUSTRIES DEVELOPMENT: A SYSTEMATIC APPROACH TO THE INTERACTION OF EDUCATION, BUSINESS AND THE STATE

Malkova A.N. Deputy Head of the Prototyping Center, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

В статье исследуется проблема формирования компетентностного профиля специалистов творческих профессий в условиях институционализации креативных индустрий как самостоятельного сектора национальной экономики. На основе анализа нормативно-правовой базы и обобщения практики ведущих образовательных организаций в сфере культуры обосновывается необходимость системной трансформации образовательных программ с включением цифрового, предпринимательского, интеллектуально-правового и аналитико-управленческого блоков компетенций. Предложена кластерная модель взаимодействия образовательных организаций, работодателей, органов государственной власти и инфраструктурных партнёров, обеспечивающая полный цикл подготовки – от освоения базовых компетенций до коммерциализации творческого продукта. Описаны практико-ориентированные образовательные форматы и механизмы взаимодействия участников экосистемы. Представлен апробированный алгоритм движения от творческой идеи к рыночному продукту. Результаты исследования имеют значение для совершенствования государственной политики в области творческого образования и кадрового обеспечения отрасли.

Ключевые слова: креативные индустрии, компетентностный профиль, творческое образование, кластерный подход, творческий инкубатор, предпринимательские компетенции, цифровые компетенции, коммерциализация, интеллектуальная собственность

Abstract

The article examines the problem of forming a competency profile for creative professionals in the context of the institutionalisation of creative industries as an independent sector of the national economy. Based on the analysis of the regulatory framework and the generalisation of the practices of leading educational organisations in the cultural sphere, the article substantiates the need for a systemic transformation of educational programmes with the inclusion of digital, entrepreneurial, intellectual-legal, and analytical-managerial competency blocks. A cluster model of interaction between educational organisations, employers, government authorities and infrastructure partners has been proposed, ensuring a full cycle of training – from basic competency acquisition to the commercialisation of creative products. Practice-oriented educational formats and mechanisms of interaction among ecosystem participants are described. A tested algorithm for moving from a creative idea to a market-ready product is presented. The findings are relevant to improving state policy in the field of creative education and industry staffing.

Keywords: creative industries, competency profile, creative education, cluster approach, creative incubator, entrepreneurial competencies, digital competencies, commercialisation, intellectual property

Введение

Трансформация культурной деятельности в полноценный экономический сектор представляет собой одну из наиболее значимых структурных тенденций последних десятилетий. Понятие «креативные индустрии», сложившееся в международном научном и управленческом дискурсе в конце 1990-х – начале 2000-х гг. [7], обрело устойчивый институциональный статус в российской нормативной системе: Федеральный закон от 8 августа 2024 г. «О развитии креативных (творческих) индустрий в Российской Федерации» впервые закрепил правовые основы поддержки творческого предпринимательства на федеральном уровне и включил образовательные организации в число ключевых участников соответствующей экосистемы [1].

Данный сдвиг означает принципиальное переосмысление роли творческого труда и, как его неизбежное следствие, пересмотр требований к субъекту этого труда. Специалист творческих профессий сегодня действует в принципиально ином экономическом и технологическом контексте, нежели его предшественники. Цифровизация производственных процессов, распространение инструментов искусственного интеллекта, формирование глобального рынка цифрового контента, возрастающая роль интеллектуальной собственности как экономического актива – всё это предъявляет требования, несводимые к традиционным профессиональным компетенциям. Система образования, ориентированная преимущественно на передачу художественно-ремесленных навыков и академических знаний, в этих условиях обнаруживает нарастающее несоответствие между содержанием подготовки и реальными запросами рынка [6].

Данное противоречие определяет центральный исследовательский вопрос настоящей статьи: каков оптимальный компетентностный профиль специалиста творческих профессий в условиях развития креативных индустрий и каковы механизмы его формирования в системе взаимодействия образования, бизнеса и государства? Цель исследования – разработать и обосновать системную модель формирования указанного профиля, предполагающую интеграцию интересов и ресурсов всех участников экосистемы.

1. Нормативно-правовые основания трансформации творческого образования

Современный этап развития отечественного творческого образования разворачивается в контексте стремительно складывающейся нормативной базы, которая в своей совокупности задаёт однозначный вектор преобразований. Ключевым здесь выступает упомянутый Федеральный закон 2024 года [1], впервые зафиксировавший на законодательном уровне, что образовательная организация в сфере культуры несёт ответственность не только за художественно-профессиональную подготовку выпускника, но и за его экономическую дееспособность – готовность к полноценному участию в рыночных процессах отрасли.

Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [2] закрепляет реализацию потенциала каждого человека и развитие его талантов в качестве национального приоритета. Принципиально важно, что данная цель недостижима без трансформации самой образовательной среды: система подготовки кадров должна обеспечивать не только трансляцию знаний и формирование навыков, но и создание условий для превращения творческого потенциала в устойчивые профессиональные и предпринимательские компетенции.

Стратегия государственной культурной политики до 2030 г. прямо указывает на необходимость единения науки, образования и искусства, а также коммерциализации культурного продукта. Государственная программа «Развитие культуры» ориентирует отрасль на экспорт продукции креативной экономики, привлечение малого и среднего бизнеса, обучение россиян новым творческим профессиям. Региональный уровень также приобретает принципиаль-

ное значение: концепция формирования культурной компетенции личности, разработанная Казанским государственным институтом культуры и утверждённая Правительством Республики Татарстан, представляет собой показательный пример органичного взаимодействия образовательной организации и региональной власти в части стратегических приоритетов кадровой подготовки.

Анализ нормативной базы показывает, что государство формирует не только требовательный контекст, но и реально работающие инструменты поддержки: программа «Приоритет-2030», конкурс «Студенческий стартап» Фонда содействия инновациям, государственная поддержка инфраструктуры творческих инкубаторов и центров прототипирования. Вместе с тем практическое воплощение обозначенного вектора пока носит неравномерный и во многом стихийный характер, что обусловливает необходимость системной теоретической рефлексии.

2. Компетентностный профиль специалиста творческих профессий: структурный анализ

Вопрос о содержании профессиональной подготовки специалиста творческих профессий в условиях креативных индустрий требует систематизации тех требований, которые реально предъявляет рынок. Проведённый анализ отраслевых тенденций и образовательных практик позволяет выделить пять взаимосвязанных блоков компетенций, образующих в совокупности интегрированный компетентностный профиль.

Первый блок – цифровые компетенции – предполагает способность к профессиональной деятельности с применением инструментов искусственного интеллекта, к созданию цифрового контента, к работе с технологиями виртуальной и дополненной реальности. Появление новых профессий – дизайнера виртуальной реальности, медиа-артиста, арт-технолога, специалиста по монетизации цифрового контента – фиксирует конвергенцию творчества и технологии [4]: граница между этими сферами утрачивает прежнюю отчётливость и превращается в зону активного взаимодействия и взаимопроникновения. Образовательные программы, не включающие соответствующие дисциплины, фактически готовят выпускника к уже несуществующему рынку.

Второй блок – предпринимательские компетенции – охватывает бизнес-моделирование, управление проектами, навыки привлечения финансирования и вывода продукта на рынок. Особую значимость этот блок приобретает для выпускников организаций среднего профессионального образования, которые нередко немедленно по завершении обучения открывают собственное дело или регистрируются в качестве самозанятых. Если специалист не обладает навыками коммерциализации творческого продукта, его профессиональный потенциал неизбежно остаётся нереализованным вне зависимости от уровня художественного мастерства.

Третий блок – компетенции в области интеллектуальной собственности – включает умение довести идею до прототипа, оформить патент или регистрацию авторского права, выстроить лицензионную модель. В условиях, когда нематериальные активы становятся ключевым производственным ресурсом творческой экономики, данный блок перестаёт быть факультативной надстройкой и приобретает статус неотъемлемого элемента профессиональной подготовки [3]. Системная работа по защите интеллектуальной собственности представляет собой недооценённый ресурс, способный формировать устойчивый доход и придавать образовательным результатам реальную коммерческую ценность.

Четвёртый блок – компетенции межпрофессионального взаимодействия. Современные творческие проекты реализуются на стыке дизайна, программирования, медицины, психологии и маркетинга. Специалист, не умеющий работать в мультидисциплинарной команде, оказывается вне конкурентного поля. Принципиально важно, что формирование данного блока требует реальной, а не симулированной межпрофессиональной среды: аудиторными методами эту задачу решить невозможно.

Пятый блок – аналитические и управленческие компетенции – предполагает понимание рынка культурных продуктов, способность к стратегическому мышлению, навыки про-

движения и брендирования творческого продукта. Данный блок нередко оказывается наименее представленным в действующих образовательных программах, хотя именно он определяет долгосрочную конкурентоспособность специалиста в отрасли.

Принципиальная особенность описанного компетентностного профиля состоит в том, что входящие в него блоки не являются автономными модулями, которые можно механически добавить к существующей образовательной программе. Они образуют интегрированную систему, эффективное освоение которой возможно только при принципиальной перестройке образовательной среды и логики учебного процесса [4].

3. Роль образовательных организаций: от трансляции знаний к созданию ценности

Базовая ответственность за формирование обозначенного профиля лежит на образовательных организациях, однако сама логика этой ответственности претерпевает качественное изменение. Образовательная организация в условиях креативных индустрий выступает не только как транслятор знаний и навыков, но и как инфраструктурный оператор, обеспечивающий среду, в которой знания превращаются в реальный продукт. Данная перемена принципиальна и требует отдельного теоретического осмысления.

Первое направление трансформации – содержательное обновление образовательных программ через интеграцию предпринимательских модулей, AI-дисциплин, курсов по проектному мышлению и интеллектуальной собственности. Казанский государственный институт культуры реализует такую трансформацию в масштабе более 80 образовательных программ – от бакалавриата до подготовки кадров высшей квалификации. Совместно с Университетом Иннополис цифровые компетенции освоили свыше 540 студентов; 30% выпускных квалификационных работ ныне выполняются по реальным заказам индустриальных партнёров, что принципиально меняет природу финального образовательного результата.

Второе направление – создание инфраструктуры перехода от обучения к созданию ценности: центров прототипирования, творческих инкубаторов, инжиниринговых центров, акселерационных программ. Инжиниринговый центр Казанского государственного института культуры, являющийся единственным в системе творческих вузов страны, за три года работы обеспечил подготовку более двух тысяч человек и производство конкурентоспособных цифровых продуктов, масштабируемых в учреждениях культуры России и за рубежом.

Третье направление – обеспечение непрерывности образования. Рынок креативных индустрий обновляется быстрее, чем успевают пересматриваться базовые образовательные программы. Мобильные программы повышения квалификации и профессиональной переподготовки – «Арт-бизнес», «Народная художественная культура как стратегический ресурс развития бизнеса», «Цифровое проектирование костюма и аксессуаров» – выступают не факультативным дополнением к основному образованию, а системообразующим элементом подготовки специалиста, способным оперативно реагировать на актуальные запросы реального сектора.

4. Кластерная модель как системная основа подготовки

Максимальная эффективность описанных образовательных форматов достигается тогда, когда они выстроены в единую цепочку, объединяющую все уровни образования и все ключевые институции экосистемы. Подобная интеграция может быть концептуализирована в рамках кластерного подхода [6], адаптированного применительно к специфике творческого образования.

Предлагаемая кластерная модель включает несколько взаимосвязанных элементов. Школы креативных индустрий (в России функционирует сеть из 113 школ в 65 регионах) обеспечивают первичное профессиональное ориентирование детей и подростков от 12 до 17 лет в области цифрового дизайна, звукорежиссуры, анимации и разработки видеоигр, формируя мотивированный поток абитуриентов для профессиональных образовательных организаций. Вузы и учреждения среднего профессионального образования реализуют углублённую подготовку с интегрированными предпринимательскими и цифровыми модулями. Центры про-

тотипирования создают среду для воплощения идей в конкурентоспособные продукты: по итогам 2025 г. сеть из 26 центров в 20 регионах обеспечила суммарный объём услуг в 52,2 млн рублей, убедительно подтверждая совместимость образовательной и коммерческой деятельности. Творческие инкубаторы осуществляют длительное, многоэтапное сопровождение проектов – от концепции до полноценного рыночного продукта с проверенной бизнес-моделью.

Принципиальная теоретическая ценность кластерной модели состоит в том, что она меняет саму природу образовательного процесса: из академического он становится предпринимательским, из замкнутого в стенах образовательной организации – открытым для взаимодействия со всеми участниками экосистемы [5]. Выпускник, подготовленный в рамках такой модели, выходит не просто на рынок труда, а на рынок креативных индустрий с собственным продуктом, сформированным портфелем компетенций и реальным предпринимательским опытом.

5. Механизмы взаимодействия образования и креативных индустрий

Для реализации кластерной модели необходима система устойчивых механизмов взаимодействия, охватывающих образовательные организации, бизнес и государство. На основе анализа существующих практик выделяется шесть таких механизмов.

Консорциумная модель предполагает объединение ресурсов нескольких образовательных организаций для совместного участия в грантовых конкурсах, реализации крупных образовательных и коммерческих проектов. Показательны примеры: коллаборации центров прототипирования на форуме «Kazan Digital Week» и совместная коллекция Кемеровского и Казанского центров, представленная на саммите БРИКС.

Индустриальное партнёрство с чётко прописанными обязательствами сторон предполагает, что работодатель не ограничивается ролью пассивного потребителя образовательного результата, но формирует заказ на конкретные продукты, участвует в разработке образовательных программ и направляет своих специалистов в качестве приглашённых экспертов-практиков. Следует констатировать, что разрыв между образовательной организацией и реальным сектором по-прежнему сохраняется: предприятия не всегда знают о возможностях, которые способна предложить образовательная организация, тогда как педагоги нередко не владеют технологиями, внедряемыми в производстве. Преодоление этого разрыва требует целенаправленных институциональных усилий.

Совместные платформы коммерциализации – маркетплейс творческих проектов, образовательная платформа, фиджитал-форматы – обеспечивают выход студенческих и преподавательских разработок на широкий рынок, в том числе международный, снимая барьеры между создателем творческого продукта и его конечным потребителем.

Совместное продвижение на ключевых отраслевых площадках – Российском венчурном форуме, «Kazan Digital Week», саммите БРИКС – позволяет формировать реальные деловые связи между образовательными организациями, технологическими компаниями и инвесторами, переводя профессиональное взаимодействие из формального в содержательное.

Совместная разработка профессиональных стандартов и образовательных программ обеспечивает своевременное обновление перечня востребованных компетенций. Только постоянный диалог между образовательным сообществом и работодателями позволяет не допускать накопления критического разрыва между содержанием образования и реальными запросами отрасли.

Международное сотрудничество – в форме договоров с образовательными организациями и индустриальными партнёрами из стран СНГ и БРИКС, совместных научно-творческих проектов и программ академической мобильности – расширяет горизонт подготовки специалиста и открывает новые рынки для российского творческого продукта.

6. Алгоритм движения от творческой идеи к рыночному продукту

Для обеспечения системной воспроизводимости описанных практик предлагается единый алгоритм, применимый как в вузе, так и в организации среднего профессионального об-

разования. Алгоритм включает пять последовательных этапов, апробированных в практике Казанского государственного института культуры.

Первый этап – научное обоснование – предполагает исследование, которое формирует концептуальную и методологическую основу для создания продукта. Пропуск данного этапа, как свидетельствует практика, ведёт к прототипированию без чёткого понимания рыночной ниши и целевой аудитории, что существенно снижает коммерческую состоятельность конечного результата.

Второй этап – прототипирование с использованием ресурсов центров прототипирования, инжиниринговых и творческих лабораторий. На этом этапе абстрактная концепция обретает осязаемую форму, а участник проекта приобретает опыт трансформации замысла в артефакт, способный быть оценённым потенциальным потребителем [4].

Третий этап – доработка и апробация в условиях акселерационной программы или творческого инкубатора, где проверяется реальная востребованность продукта и выстраивается модель его монетизации. По итогам акселерационной программы Казанского государственного института культуры 30 студентов стали победителями конкурса «Студенческий стартап» Фонда содействия инновациям, часть из которых вышла в действующее предпринимательство.

Четвёртый этап – оформление прав интеллектуальной собственности: патентование, регистрация авторских прав, разработка технологической карты для тиражирования. Недооценённость данного этапа в образовательной практике означает, что значительная часть создаваемых продуктов теряет возможность генерировать устойчивый доход [3].

Пятый этап – выход на рынок: лицензирование, продажа, масштабирование через производственных партнёров, представление на федеральных и международных площадках. Разработанные VR-тренажёры, цифровые коллекции и образовательная платформа масштабированы в учреждениях культуры нескольких регионов России и за рубежом, что подтверждает практическую работоспособность предложенного алгоритма.

Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать ряд теоретически и практически значимых выводов.

Компетентностный профиль специалиста творческих профессий в условиях развития креативных индустрий представляет собой интегрированную систему, включающую цифровой, предпринимательский, интеллектуально-правовой, межпрофессиональный и аналитико-управленческий блоки. Ни один из этих блоков не является вспомогательным – каждый относится к числу базовых требований современного рынка. Традиционная ориентация творческого образования на художественно-ремесленные навыки при описанном запросе рынка оказывается необходимым, но недостаточным условием подготовки конкурентоспособного специалиста.

Формирование такого профиля не может быть обеспечено ресурсами одной образовательной организации. Оно требует системного взаимодействия всех участников экосистемы – образовательных организаций, работодателей, органов государственной власти и инфраструктурных партнёров – в рамках кластерной модели, обеспечивающей полный цикл от базовой подготовки до коммерциализации творческого продукта.

Образовательные форматы, доказавшие наибольшую эффективность в данном контексте, объединяет общий принципиальный признак: максимальное сближение учебной деятельности с реальными условиями профессиональной практики. Проектное обучение на реальных заказах, акселерационные программы, работа в центрах прототипирования и творческих инкубаторах, программы непрерывного образования – все эти форматы создают среду, в которой компетенции формируются в процессе решения подлинных, а не учебных задач.

Нормативно-правовая база 2024 г. создаёт прочный институциональный фундамент для реализации описанной модели. Вместе с тем её практическое воплощение требует согла-

сованных усилий академического сообщества, предпринимательской среды и государства – интеграции, которая пока реализована лишь в лучших отдельных практиках и не стала общесистемной нормой.

Перспективы дальнейшего исследования связаны с разработкой инструментария оценки сформированности компетентностного профиля специалистов творческих профессий, анализом международного опыта кластерной подготовки кадров для креативных индустрий и изучением долгосрочных эффектов предложенной модели для регионального развития творческой экономики.

Список литературы

1. Федеральный закон от 8 августа 2024 г. № 265-ФЗ «О развитии креативных (творческих) индустрий в Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2024. – № 33. – Ст. 5001.

2. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2024. – № 20. – Ст. 2584.

3. Зинов, В. Г. Менеджмент инноваций: кадровое обеспечение / В. Г. Зинов, С. А. Цыганов. – Москва : Дело, 2005. – 496 с.

4. Новиков А. М. Методология учебной деятельности / А. М. Новиков. – Москва : Эгвес, 2005. – 176 с.

5. Портер М. Конкуренция / М. Портер; пер. с англ. – Москва : Вильямс, 2005. – 608 с.

6. Флорида Р. Креативный класс: люди, которые меняют будущее / пер. с англ. – Москва : Классика-XXI, 2011. – 432 с.

7. Хокинс Дж. Креативная экономика. Как превратить идеи в деньги / Дж. Хокинс; пер. с англ. – Москва : Классика-XXI, 2011. – 256 с.

УДК 338.46:7

ТВОРЧЕСКИЕ ИНКУБАТОРЫ НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СФЕРЕ КУЛЬТУРЫ: ИНСТИТУЦИОНАЛИЗАЦИЯ, ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Малькова А.Н., заместитель руководителя Центра прототипирования ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

CREATIVE INCUBATORS BASED ON FEDERAL EDUCATIONAL ORGANIZATIONS IN THE CULTURAL SPHERE: INSTITUTIONALIZATION, ORGANIZATIONAL MODELS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Malkova A.N., Deputy Head of the Prototyping Center, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматривается процесс институционализации творческих инкубаторов в системе среднего профессионального художественного образования России. Автор анализирует нормативно-правовые основания, организационные модели и первые практические результаты четырёх творческих инкубаторов, открытых в 2026 году на базе образовательных организаций, подведомственных Министерству культуры Российской Федерации. В статье предложено сравнительное описание моделей инкубаторов, выявлены их общие черты и отличительные

характеристики, охарактеризована роль творческих инкубаторов в развитии отечественных креативных индустрий и формировании культурной идентичности молодёжи. Особое внимание уделяется вопросам функциональной структуры инкубаторов, принципам отбора резидентов и перспективам масштабирования модели в регионах Российской Федерации.

Ключевые слова: творческие инкубаторы, креативные индустрии, художественное образование, культурная идентичность молодёжи, творческое предпринимательство, профессиональное становление.

Abstract

The article examines the process of institutionalization of creative incubators within the system of professional art education in Russia. The author analyzes the regulatory framework, organizational models, and first practical results of the four creative incubators that opened in 2026 on the basis of educational organizations subordinate to the Ministry of Culture of the Russian Federation. The article provides a comparative description of the incubator models, identifies their common features and distinctive characteristics, and considers the role of creative incubators in the development of creative industries and the formation of cultural identity of youth. Special attention is paid to the functional structure of the incubators, principles of resident selection, and prospects for scaling the model in the regions of the Russian Federation.

Keywords: creative incubators, creative industries, art education, youth cultural identity, creative entrepreneurship, professional development

Введение

Современное развитие экономики знаний определяет возрастающую роль креативных индустрий как фактора национальной конкурентоспособности и условия воспроизводства культурных ценностей. В этом контексте творческие инкубаторы – специализированные инфраструктурные площадки, ориентированные на поддержку и продвижение проектов в сфере культуры, искусства и творческого предпринимательства, – закономерно становятся значимым элементом экосистемы развития человеческого потенциала. Возникая первоначально в крупных городских агломерациях как инициативный ответ на запросы рынка, сегодня они превращаются в предмет целенаправленной государственной политики [5].

Исследователи всё чаще обращают внимание на то, что подобные организации выполняют не только экономическую функцию – содействуя коммерциализации творческих идей, но и социокультурную, формируя среду для профессионального роста молодёжи и активного воспроизводства культурных ценностей [10; 9]. Вопрос институционализации творческих инкубаторов в России приобрёл практическое измерение в 2021 году, когда Правительством Российской Федерации была утверждена Концепция развития творческих (креативных) индустрий и механизмов осуществления их государственной поддержки в крупных и крупнейших городских агломерациях до 2030 года [5]. Этот документ впервые на федеральном уровне зафиксировал необходимость формирования специализированной инфраструктуры для поддержки субъектов творческой экономики.

Последующая разработка Концепции создания творческих инкубаторов (2025) конкретизировала механизмы реализации данных задач применительно к образовательным организациям сферы культуры [6]. Переломным событием стал 2026 год, когда на базе четырёх федеральных государственных профессиональных образовательных учреждений, подведомственных Министерству культуры Российской Федерации, были открыты первые творческие инкубаторы. Их появление знаменует переход от концептуального обсуждения к практической реализации государственной политики в данной сфере. Именно поэтому анализ организационных моделей, задач и первых результатов деятельности этих структур представляет несомненный научный и практический интерес.

Концептуальные основы творческих инкубаторов

Творческий (креативный) инкубатор – понятие, производное от более широкого термина «бизнес-инкубатор», однако обладающее существенной спецификой. В отличие от технологических или общепредпринимательских инкубаторов, ориентированных преимущественно на коммерчески масштабируемые стартапы, творческий инкубатор сосредоточен на поддержке проектов, ценность которых определяется в том числе нематериальными параметрами: художественной значимостью, культурной репрезентативностью и образовательным потенциалом [9].

По определению, закреплённому в Концепции создания творческих инкубаторов, такая площадка представляет собой «специализированную инфраструктурную площадку, являющуюся разновидностью бизнес-инкубатора, основной целью которой является оказание комплексной поддержки субъектам творческих (креативных) индустрий и творческого (креативного) предпринимательства» [6]. Ключевой акцент делается на сопровождении творческих проектов на всех этапах их жизненного цикла – от первоначальной концепции до вывода готового продукта на рынок.

Проблематика творческих инкубаторов вписывается в более широкую дискуссию об инфраструктурных условиях становления российской креативной экономики. Т.Н. Суминова отмечает, что творческое предпринимательство является «колоссальным ресурсом модернизационного развития социально-экономического потенциала региона» и одним из факторов конкурентоспособности территорий [6]. Опыт российских городов – Москвы, Санкт-Петербурга, Перми, Красноярска, Владивостока – свидетельствует о том, что арт-пространства и творческие кластеры способны становиться значимыми точками притяжения и экономического роста [6].

Принципиальным отличием творческих инкубаторов, создаваемых на базе образовательных организаций, от автономных коммерческих площадок является их встроенность в систему формального профессионального образования. Это обстоятельство одновременно расширяет их возможности – за счёт доступа к компетенциям преподавательского состава, материально-технической базе и студенческой аудитории – и налагает особые требования, связанные с необходимостью соответствия нормативным требованиям образовательного законодательства [1].

Нормативно-правовые основания

Деятельность творческих инкубаторов в России опирается на развитую нормативную базу, включающую документы различного уровня. Конституционные гарантии свободы творческой деятельности и государственной поддержки культуры формируют общий контекст. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» (2012) определяет специфику правового положения организаций, на базе которых создаются инкубаторы [1].

Стратегический вектор задан Указом Президента Российской Федерации от 24 декабря 2014 года № 808 «Об утверждении Основ государственной культурной политики», закрепившим приоритет сохранения и развития культурного многообразия страны [2]. Примечательно, что ещё в Послании Президента Федеральному Собранию 2013 года подчёркивалась «всеохватывающая, объединяющая роль культуры, истории, русского языка для нашего многонационального народа» как основание для выстраивания государственной политики в сфере образования [4].

Национальные цели развития, определённые Указом Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 года № 474, включают обеспечение возможностей для самореализации и развития талантов у молодёжи, что прямо соответствует миссии творческих инкубаторов [3]. Наконец, распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2021 года № 2613-р утверждена Концепция развития творческих (креативных) индустрий, ставшая методологической основой для создания инкубаторов [5]. Весь этот нормативный массив обра-

зует целостную правовую экосистему, в которой деятельность творческих инкубаторов обретает институциональную легитимность.

Четыре новых творческих инкубатора 2026 года

В 2026 году в соответствии с Концепцией создания творческих инкубаторов были открыты четыре площадки на базе федеральных образовательных организаций, подведомственных Министерству культуры Российской Федерации. Все четыре структуры объединяет принципиальная общая черта: они являются структурными подразделениями соответствующих образовательных учреждений без образования самостоятельного юридического лица и позиционируются исключительно через принадлежность к базовому учреждению [6; 7]. Вместе с тем каждая обладает выраженной отраслевой и региональной спецификой.

Творческий инкубатор «Лонжа»

Первый инкубатор открылся в Москве на базе Федерального государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения «Государственное училище циркового и эстрадного искусства имени М.Н. Румянцева (Карандаша)». Наименование «Лонжа» – профессиональный термин, обозначающий страхующее устройство в цирковом исполнительстве, – воплощает метафору инкубатора: площадка призвана стать опорой для начинающих творческих проектов, снижая риски их выхода на рынок .

Деятельность «Лонжи» строится на принципах комплексного сопровождения проекта от замысла до готового творческого продукта с ориентацией на практический результат и коммерциализацию идей при сохранении их культурной и образовательной ценности. Приоритетными направлениями являются проекты по продвижению детского творчества, создание медиаконтента для образовательных организаций дополнительного образования, поддержка любительских цирковых коллективов, а также проекты, направленные на сохранение культурных ценностей и традиций народов России.

Творческий инкубатор «Театриум»

Второй инкубатор открывается в Перми на базе Федерального государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения «Пермское государственное хореографическое училище». Пермь – один из признанных культурных центров России с давними традициями в области хореографии – стала площадкой для единственного в первой волне открытий регионального инкубатора.

«Театриум» позиционируется как арт-резиденция нового типа: экосистема, в которой творческий специалист получает поддержку для реализации амбициозных проектов и профессионального роста. Инкубатор объединяет функции образовательной площадки, переговорного пространства и творческой лаборатории. Приоритетные направления – театральное искусство, балет, культурно-просветительская деятельность и создание медиаконтента. Особое место отведено лабораториям исполнительских искусств как экспериментальной платформе, предусматривающей различные сценические форматы: классические постановки, современные перформансы, выставки и творческие коллаборации.

Творческий инкубатор МЦХШ при РАХ

Третий инкубатор открывается в Москве на базе Федерального государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения «Московская центральная художественная школа при Российской академии художеств». Его специфика состоит в совмещении образовательной, проектной, консультационной и презентационной деятельности, а принципиальным отличием от иных платформ является то, что академическая художественная школа выступает не только контекстом, но и содержательной основой всей проектной работы. Деятельность площадки выстроена по конкурсному принципу и охватывает две целевые аудитории: художников с профильным образованием (включая незаконченное) и управленцев в сфере культуры. Для каждой категории разрабатываются специальные образовательные и проектные маршруты. Резидентам-художникам предлагаются вводные образовательные

модули по истории искусства и проектному мышлению, практическая работа в мастерских, наставничество и итоговая публичная защита в форме выставки; резидентам-управленцам – углублённое изучение теории и истории искусства, кураторской деятельности, практическое погружение в процессы реализации культурных проектов и разработка управленческих кейсов [7].

Творческий инкубатор «АртСТАРТ МАХУ»

Четвёртый инкубатор откроется в Москве на базе Федерального государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения «Московское академическое художественное училище». «АртСТАРТ МАХУ» ориентирован на широкую целевую аудиторию – детей, молодёжь и иных участников творческой деятельности, – а его отличительной чертой служит выраженный акцент на воспитании предпринимательского мышления у представителей художественной сферы.

Деятельность инкубатора носит подчёркнуто проектный характер: внимание уделяется не только созданию творческого продукта, но и его продвижению, оценке рыночной востребованности, разработке бизнес-стратегии, формированию команды и поиску ресурсов. Приоритетные направления – детское творчество, живопись и графический дизайн, создание медиаконтента, а также поддержка молодых талантов в культурно-художественной сфере.

Сравнительный анализ организационных моделей

Сопоставление четырёх инкубаторов позволяет выявить как сквозные черты, так и принципиальные различия в их подходах.

Все четыре площадки объединяет, во-первых, единая организационно-правовая форма: ни одна из них не является самостоятельным юридическим лицом, что позволяет избежать регистрационных сложностей, однако требует чёткого внутриинституционального регламентирования отношений между инкубатором и базовым учреждением [6; 7]. Во-вторых, смешанная модель финансирования: часть услуг оказывается бесплатно за счёт бюджетных средств, часть – на договорной платной основе. В-третьих, все площадки планируют реализацию открытых образовательных программ, мастер-классов и публичных мероприятий для широкого сообщества, а не только для резидентов.

Вместе с тем отличительным параметром является отраслевая специализация и характер целевой аудитории. «Лонжа» работает в специфической нише циркового и эстрадного искусства с выраженным фокусом на детском творчестве. «Театриум» ориентирован на пересечение хореографического и театрального искусства, делая акцент на практиках перформанса и арт-лабораториях. Инкубатор МЦХШ при РАХ уникален введением управленцев в сфере культуры как самостоятельной резидентской группы. «АртСТАРТ МАХУ» отличается наиболее широкой тематической палитрой, охватывая весь спектр визуальных искусств и практической коммерциализации.

Существенно и географическое распределение: три из четырёх инкубаторов расположены в Москве, и лишь один – «Театриум» – в регионе. Такое соотношение отражает концентрацию ключевых художественных учебных заведений в столице, но одновременно поднимает вопрос о необходимости более широкого охвата регионов России при дальнейшем развитии сети [6]. Значимость регионального измерения для развития отрасли хорошо изучена в отечественной литературе: арт-проекты реализуются не только в Москве и Санкт-Петербурге, но и принципиально важны для городов, «стремящихся активизировать творческое начало населения», – в Перми, Красноярске, Самаре, Петрозаводске [11].

Творческие инкубаторы и формирование культурной идентичности молодёжи

Роль творческих инкубаторов не ограничивается экономическим измерением. Для молодёжи как основной аудитории большинства подобных площадок они являются пространством не только профессионального, но и культурного самоопределения. М.В. Острикова обоснованно указывает, что инкубаторы «являются ключевым элементом в развитии культу-

ры и творчества», поскольку «не только способствуют созданию новых форм и направлений в искусстве, но и обеспечивают доступ к культурным ценностям для молодёжи» [9].

Культурная идентичность, понимаемая как осознание индивидом своей принадлежности к определённой культурной традиции и активное воспроизводство её ценностей, формируется в том числе через практическую вовлечённость в культурное производство. С.С. Зубарева, анализируя трансформации культурной идентичности в условиях общества потребления, подчёркивает, что молодёжь нуждается в пространствах, где культурный опыт становится личностно значимым, а не только потребляемым [8]. Н.Л. Смакотина и Н.А. Хвыля-Олинтер указывают на то, что национально-культурная идентичность представляет собой сложный динамический конструкт, нуждающийся в институциональной поддержке для своего воспроизводства в условиях глобализации [10].

Творческие инкубаторы, функционирующие на базе профильных художественных учебных заведений, обладают в этом отношении рядом системных преимуществ перед коммерческими площадками. Во-первых, они встроены в контекст длительной педагогической традиции, что обеспечивает преемственность культурного канона. Во-вторых, они предоставляют инструментарий для осмысленного и творчески активного диалога с этим каноном через разработку собственных авторских проектов. Программные документы всех четырёх открытых инкубаторов включают в число приоритетных направлений «проекты, направленные на сохранение культурных ценностей и традиций народов России» [7], что свидетельствует об осознанном встраивании культуроохранительной функции в саму логику инкубирования.

В-третьих, инкубаторы создают профессиональное сообщество – среду единомышленников, в которой принадлежность к культурной традиции переживается как коллективный, а не сугубо индивидуальный опыт [9]. Это особенно значимо в ситуации, когда значительная часть молодёжи испытывает затруднения с оформлением устойчивой культурной идентичности в условиях нарастающей информационной перегруженности [8; 10].

Функциональная структура творческих инкубаторов

Анализ нормативных и программных документов четырёх открытых в 2026 году инкубаторов позволяет выделить многоуровневую функциональную структуру, реализуемую через несколько взаимосвязанных направлений деятельности.

Образовательное направление предполагает реализацию программ, мастер-классов, тренингов, лекций и творческих хакатонов, ориентированных как на резидентов, так и на широкий круг участников. Особое значение приобретает образовательная акселерационная программа, в рамках которой участники в сжатые сроки осваивают ключевые компетенции, необходимые для коммерциализации творческих разработок в сфере креативных индустрий [6]. При этом принципиально, что «образовательный модуль акселерационной программы» интегрируется в учебный процесс базового учреждения, формируя органичную связь между профессиональным образованием и предпринимательской практикой [6].

Консультационное направление включает юридическое, бухгалтерское и маркетинговое сопровождение проектов резидентов, помощь в защите интеллектуальной собственности, подготовку грантовых заявок и содействие в привлечении инвестиций. Данное направление принципиально для молодых творческих специалистов, нередко не обладающих достаточными предпринимательскими компетенциями.

Продюсерское направление предусматривает активное участие инкубатора в планировании, разработке и выводе на рынок творческих продуктов, включая их продвижение на профильных площадках, участие в выставках и форумах, разработку маркетинговых стратегий – в том числе ориентированных на международные рынки [6].

Сетевое направление ориентировано на формирование устойчивого профессионального сообщества, объединяющего резидентов, инвесторов, представителей бизнеса, фондов

и средств массовой информации. Организация встреч, питчей и экспертных сессий создаёт инфраструктуру для горизонтального взаимодействия между участниками творческого рынка и обеспечивает видимость инкубируемых проектов [6].

Показательно, что все четыре направления реализуются не изолированно, а как единый цикл – от идеи к продукту, от продукта к сообществу, от сообщества к новым идеям. Именно эта цикличность, обеспечивающая самовоспроизводство творческой среды, и составляет ключевое отличие инкубатора от традиционного образовательного подразделения.

Перспективы развития

2026 год стал лишь начальным этапом формирования сети творческих инкубаторов на базе федеральных образовательных организаций сферы культуры. Концепция предусматривает их развитие в период 2026–2030 годов [6], и первый опыт четырёх открытых площадок предоставляет ценный материал для обоснования дальнейшей стратегии.

Апробация различных организационных моделей в нескольких художественных областях – цирковом искусстве, хореографии, изобразительном искусстве – создаёт основу для тиражирования наиболее эффективных из них. При этом Концепция специально оговаривает, что учреждение «самостоятельно в соответствии с действующим законодательством определяет форматы, направления деятельности и ценовую политику ТИ» [6], что позволяет учитывать индивидуальную специфику каждой организации, не жертвуя тиражируемостью базовой модели.

Присутствие «Театриума» в Перми демонстрирует принципиальную возможность создания инкубаторов за пределами Москвы. Дальнейшее расширение географии представляется необходимым условием для обеспечения равного доступа молодёжи различных регионов страны к инфраструктуре поддержки художественного творчества. При этом именно регионы, в которых формируется запрос на активизацию творческого потенциала населения, могут получить наибольшие выгоды от появления подобных площадок.

Важным условием успеха является интеграция инкубаторов с более широкой экосистемой поддержки. Арт-кластеры, арт-резиденции, технопарки, выставочные пространства, галереи и центры прототипирования должны образовывать связную сеть, в которую вписываются инкубаторы на образовательных площадках [6]. Опыт Агентства креативных индустрий Правительства Москвы, реализующего такие спецпроекты, как «Дизайн-цех», «Фабрика Музыки» и «Фабрика дизайна», подтверждает результативность государственно-частного партнёрства в этой сфере [9].

Заключение

Открытие в 2026 году четырёх творческих инкубаторов на базе профессиональных образовательных организаций Министерства культуры Российской Федерации – «Лонжи» при Государственном училище циркового и эстрадного искусства, «Театриума» при Пермском государственном хореографическом училище, инкубатора МЦХШ при Российской академии художеств и «АртСТАРТ МАХУ» при Московском академическом художественном училище – открывает новую страницу в развитии отечественной инфраструктуры поддержки творческих индустрий.

Каждый из четырёх инкубаторов, сохраняя единую институциональную рамку, реализует собственную модель деятельности, обусловленную отраслевой спецификой, целевой аудиторией и региональным контекстом. Это разнообразие не является слабостью системы: оно сознательно заложено в Концепцию создания творческих инкубаторов как возможность охватить различные сегменты творческого рынка и предложить релевантную поддержку представителям разных областей искусства.

Творческие инкубаторы, функционирующие на базе художественных школ с академическими традициями, обладают исключительным потенциалом для формирования культурной идентичности молодёжи: они органично соединяют профессиональное мастерство

с современными практиками предпринимательства, личностное самовыражение – с принадлежностью к культурной традиции, индивидуальное развитие – с коллективным творческим опытом. Именно это качество, на наш взгляд, делает их незаменимым практическим инструментом государственной культурной политики России на современном этапе.

Список литературы

1. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2012. – № 53. – Ст. 7598.

2. Указ Президента Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 808 «Об утверждении Основ государственной культурной политики» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2014. – № 52. – Ст. 7753.

3. Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2020. – № 30. – Ст. 4884.

4. Послание Президента Российской Федерации В.В. Путина Федеральному Собранию от 12 декабря 2013 года. – URL: http://www.kremlin.ru/news/19825 (дата обращения: 02.06.2026).

5. Концепция развития творческих (креативных) индустрий и механизмов осуществления их государственной поддержки в крупных и крупнейших городских агломерациях до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2021 г. № 2613-р // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru (дата обращения: 05.05.2026).

6. Концепция создания творческих инкубаторов: проект / Министерство культуры Российской Федерации. – Москва, 2025. – 28 с.

7. Положение о Творческом инкубаторе федерального государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения «Московская центральная художественная школа при Российской академии художеств» / утв. директором МЦХШ при РАХ 18 февраля 2026 г. – Москва, 2026.

8. Зубарева С.С. Культурная идентичность современной молодёжи в контексте общества потребления / С.С. Зубарева // Гуманитарий Юга России. – 2018. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kulturnaya-identichnost-sovremennoy-molodezhi-v-kontekste-obschestva-potrebleniya (дата обращения: 05.04.2026).

9. Острикова М.В. Креативные инкубаторы как инструмент формирования культурной идентичности молодёжи / М.В. Острикова // Наука. Искусство. Культура. – 2023. – Вып. 4 (40). – С. 204–211.

10. Смакотина Н.Л. Национально-культурная идентичность молодёжи: социологический метод оценки / Н.Л. Смакотина, Н.А. Хвыля-Олинтер // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. – 2010. – № 2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/natsionalno-kulturnaya-identichnost-molodezhi-sotsiologicheskiy-metod-otsenki (дата обращения: 07.04.2026).

11. Суминова Т.Н. Творческое предпринимательство в контексте формирования креативной экономики и региональной политики в сфере культуры и искусства / Т.Н. Суминова // Культура и образование: научно-информационный журнал вузов культуры и искусств. – 2014. – № 1 (12). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tvorcheskoe-predprinimatelstvo-v-kontekste-formirovaniya-kreativnoy-ekonomiki-i-regionalnoy-politiki-v-sfere-kultury-i-iskusstva (дата обращения: 05.05.2026).

12. Справка об открытии творческих инкубаторов / Министерство культуры Российской Федерации. – Москва, 2026.

УДК 791.43:004.8

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ СОВРЕМЕННОГО КИНЕМАТОГРАФА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ, ХУДОЖЕСТВЕННОЕ И ПРАВОВОЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Мальцева Е.А., студент;
Перелыгин Д.А., студент;
Малькова А.Н., заместитель руководителя Центра прототипирования ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A FACTOR OF TRANSFORMATION OF MODERN CINEMA: TECHNOLOGICAL, ARTISTIC AND LEGAL DIMENSIONS

Maltseva E.A., student;
Perelygin D.A., student;
Malkova A.N., Deputy Head of the Prototyping Center, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

В статье предпринята попытка комплексного анализа роли искусственного интеллекта в современном кинематографе через призму трёх взаимосвязанных измерений: технологического, художественно-эстетического и правового. Авторы рассматривают ИИ не только как производственный инструмент, сокращающий временные и финансовые затраты на создание кинопродукта, но и как самостоятельный эстетический феномен, трансформирующий визуальный язык кино и традиционные принципы авторства. Особое внимание уделяется противоречиям, возникающим на пересечении творческих возможностей ИИ и существующих механизмов правового регулирования интеллектуальной собственности. На материале анализа ряда знаковых кинопроизведений последнего десятилетия авторы выявляют специфику так называемого «алгоритмического реализма» как нового типа визуальной эстетики. В заключении формулируется вывод о необходимости выработки сбалансированного подхода к интеграции ИИ в кинопроизводство, при котором технологии расширяют, а не замещают человеческое творческое мышление.

Ключевые слова: искусственный интеллект, кинематограф, кинопроизводство, визуальный стиль фильма, авторство, интеллектуальная собственность, нейронные сети, алгоритмическая эстетика, цифровые технологии

Abstract

The article attempts a comprehensive analysis of the role of artificial intelligence in modern cinema through the lens of three interrelated dimensions: technological, artistic-aesthetic, and legal. The authors consider AI not only as a production tool that reduces the time and financial costs of creating a film product, but also as an independent aesthetic phenomenon that transforms the visual language of cinema and traditional principles of authorship. Special attention is paid to the contradictions arising at the intersection of AI creative capabilities and the existing legal mechanisms for regulating intellectual property. Based on the analysis of a number of significant films of the last decade, the authors reveal the specifics of the so-called “algorithmic realism” as a new type of visual aesthetics. The conclusion formulates a need for developing a balanced approach to AI integration into film production, in which technologies expand rather than replace human creative thinking.

Keywords: artificial intelligence, cinema, film production, visual style of film, authorship, intellectual property, neural networks, algorithmic aesthetics, digital technologies

1. Введение

Кинематограф на протяжении своей более чем столетней истории последовательно переживал технологические переломы, каждый из которых радикально переформатировал природу киноискусства. Появление звука, переход к цветному изображению, цифровая революция конца XX века – всё это были моменты, после которых кино уже не могло оставаться прежним. Однако внедрение технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ) в кинопроизводство представляет собой качественно иной вызов по сравнению со всеми предшествующими трансформациями. Если прежние инновации оставались инструментами в руках человека, пусть и меняющими выразительные возможности художника, то ИИ впервые претендует на участие в самом процессе художественного мышления: генерации идей, выборе визуальных решений, формировании нарративной структуры [1].

Показательно, что ещё совсем недавно понятие «искусственный интеллект» в контексте кино обладало исключительно сценарным, почти фантастическим измерением. Разумный робот из немого «Метрополиса» Фрица Ланга (1927), компьютер HAL 9000 в «Космической одиссее» Стэнли Кубрика – образы ИИ на экране долгое время существовали лишь как художественная метафора. Сегодня те же технологии, которые ещё недавно были уделом научной фантастики, стали рядовым производственным инструментом на голливудских съёмочных площадках.

Актуальность настоящего исследования определяется тем, что практическое применение ИИ в кинопроизводстве явно опережает его систематическое теоретическое осмысление. Глобальный рынок ИИ в медиа и развлечениях по итогам 2024 г. оценивается в 15 млрд долларов США при ежегодном темпе роста 25–30%, что свидетельствует о стремительной экспансии данных технологий в творческую индустрию [4]. Около 90% крупных студий – Disney, Warner Bros., Netflix – активно экспериментируют с нейронными сетями на различных этапах производства, тогда как 60% независимых кинокомпаний применяют ИИ-инструменты как минимум на стадии постпродакшна или превизуализации. Подобная динамика требует не только технического описания происходящих изменений, но и их аналитического осмысления в художественном и правовом контекстах.

Целью настоящей статьи является выявление ключевых закономерностей трансформации кинематографической практики под воздействием технологий ИИ, а также обозначение основных противоречий, которые это внедрение порождает в сфере эстетики и права интеллектуальной собственности.

2. Технологическое измерение: ИИ на всех этапах кинопроизводства

Для корректного понимания роли ИИ в кинематографе необходимо рассмотреть его применение на каждом из базовых производственных этапов – препродакшне, съёмочном периоде и постпродакшне, поскольку на каждом из них ИИ выполняет принципиально различные функции.

На стадии препродакшна генеративные алгоритмы позволяют создавать концепт-арты, раскадровки и визуальные референсы на основе текстовых описаний, что существенно сокращает время визуального поиска и расширяет возможности стилистического эксперимента [7]. ИИ в данном контексте выступает не только как вспомогательный технический ресурс, но и как активный соучастник формирования художественной концепции будущего фильма. Применительно к сценарной работе нейросети пока не способны создать полноценный драматургический текст с выстроенным конфликтом и психологически достоверными персонажами: основную нарративную ткань по-прежнему создаёт человек [2]. Вместе с тем алгоритмы могут оказать ощутимую поддержку сценаристу в состоянии творческого кризиса: генерировать диалоговые фрагменты, описания внешности героев, структурные элементы сюжета, которые впоследствии дорабатываются автором.

В период съёмок особую роль приобретают системы так называемой «интеллектуальной кинематографии» (intelligent cinematography), анализирующие сцену, движение камеры

и параметры кадра в режиме реального времени. Алгоритмы компьютерного зрения распознают объекты, оценивают пространственную глубину, прогнозируют перемещение персонажей и формируют рекомендации относительно оптимальных настроек съёмки [8]. Практическим воплощением данного подхода стала технология StageCraft, применённая в сериале «Мандалорец»: ИИ-алгоритмы отслеживали положение камеры и в режиме реального времени перестраивали перспективу и освещение виртуального окружения, радикально меняя природу самого операторского решения.

Постпродакшн остаётся областью наиболее массового и зрелого применения нейронных сетей. Порядка 70% голливудских блокбастеров используют их для создания визуальных эффектов, цифровых персонажей и генерации фонов. Более 50% студий применяют алгоритмы для автоматизации монтажного процесса, а 80% крупных проектов экономят время и бюджет за счёт нейросетевого синтеза голоса и озвучки. Среди наиболее показательных примеров – восстановление компанией Respeecher голоса Дарта Вейдера для сериала «Оби-Ван Кеноби», а также работа специалистов Sonantic по воссозданию голоса актёра Вэла Килмера, утраченного после операции на гортани.

Особого внимания заслуживает исторический вектор технологического освоения ИИ в кинематографе. Уже в 2009 г. студия WETA при создании «Аватара» Джеймса Кэмерона применяла адаптированный алгоритм Massive для управления массой цифровых персонажей, а также специализированное программное обеспечение для симуляции мышечной системы. В 2018 г. нейросеть по имени «Бенджамин», обученная на платформе Amazon Web Services с использованием библиотеки TensorFlow, выступила в роли режиссёра и сценариста короткометражного фильма «Zone Out», создав кинокартину за 48 часов из тысяч часов архивных материалов. В 2023 г. анимационный фильм «Critterz», персонажи которого были разработаны и анимированы на основе текстовых описаний с помощью нейросетей OpenAI, был представлен на Каннском фестивале, что ознаменовало выход ИИ-кино за рамки экспериментального жанра [4].

Важна и экономическая составляющая: по словам режиссёра Чада Нельсона, работа над «Critterz» заняла одну неделю вместо предполагаемых шести месяцев, что наглядно иллюстрирует потенциал ИИ как инструмента демократизации кинопроизводства. Нейронные сети делают профессиональные инструменты более доступными для независимых режиссёров и небольших студий, создавая условия для появления новых жанров и форматов.

3. Художественно-эстетическое измерение: трансформация киноязыка и понятия авторства

Классическая теория кино рассматривала визуальный стиль фильма как непосредственное выражение авторской интенции [1]. Композиция кадра, работа с цветом и светом, движение камеры, фактура изображения – всё это образовывало единую систему кинематографических смыслов, неотделимую от личности создателя. Данная система сегодня подвергается принципиальному переосмыслению под воздействием алгоритмизации визуальных решений.

Современные алгоритмы машинного обучения способны с высокой точностью анализировать и воспроизводить визуальные паттерны, стилистические особенности конкретных режиссёров и целых художественных направлений, а также генерировать эстетически цельные цветовые решения на основе анализа обширных баз данных [7]. С одной стороны, это открывает беспрецедентно широкие возможности для стилистического эксперимента и создания гибридных визуальных форм. С другой стороны, возникает риск стандартизации визуального языка: цвет и свет, превращённые в объект вычислительной оптимизации, способны утрачивать индивидуальный авторский подтекст и превращаться в универсальный визуальный код.

Исследователи визуальной культуры обращают внимание на принципиальную не-нейтральность алгоритмов: системы ИИ несут в себе эстетические предпочтения и культурные коды, заложенные в обучающих данных [10]. Визуальный стиль фильма, созданного с участием искусственного интеллекта, отражает не только замысел режиссёра, но и коллективную

визуальную память цифровой эпохи – совокупность паттернов, которые алгоритм «видел» в процессе обучения. Данное обстоятельство ставит под сомнение традиционную концепцию оригинальности: генеративный ИИ способствует не столько созданию принципиально нового визуального языка, сколько переработке и рекомбинации уже существующих эстетических моделей.

Кейс-анализ ряда знаковых кинопроизведений позволяет выявить разнообразие моделей взаимодействия между человеческим и алгоритмическим творческим мышлением. В фильме «Ирландец» (реж. М. Скорсезе, 2019) компания Industrial Light & Magic применила алгоритмы машинного обучения для цифрового омоложения актёров без традиционных маркеров захвата движения. Примечательно, что данная технология вышла за рамки чисто технической задачи: операторская работа Родриго Прието была скорректирована с учётом ограничений применяемых алгоритмов – изменились схемы освещения, крупность планов, пластика движения камеры. Таким образом, ИИ косвенно продиктовал ряд эстетических компромиссов, которые иначе едва ли были бы приняты.

Иную модель демонстрирует «Аватар: Путь воды» (2022), где системы машинного обучения применялись для симуляции воды, мимики цифровых персонажей и взаимодействия виртуальных тел с физической средой. Итогом стал особый тип визуального языка, который можно обозначить как «алгоритмический реализм»: эстетика подчинена математической точности, а граница между операторской съёмкой и алгоритмической генерацией практически стирается, камера перестаёт быть исключительно физическим объектом и становится частью вычислительной системы [7].

Фильм «Всё везде и сразу» (реж. Д. Кван, Д. Шайнерт, 2022) демонстрирует третью модель, принципиально отличную от двух предыдущих: здесь интеллектуальные инструменты автоматизации визуальных эффектов и цветокоррекции позволили небольшой команде создать намеренно эклектичный, жанрово многослойный визуальный мир. В данном случае ИИ выступил катализатором художественного многообразия, а не унификатором, что свидетельствует о принципиальной вариативности его художественных функций.

Все три случая объединяет один вопрос, на который современная теория кино ещё не выработала однозначного ответа: кто несёт художественную ответственность за визуальное решение, принятое в диалоге с алгоритмом? Традиционная концепция авторского «слова» предполагает единство замысла и воплощения. В условиях, когда часть визуальных решений делегируется системе ИИ, это единство нарушается, и возникает новая конфигурация авторства – коллаборативная, диалогическая, в которой человеческое творческое мышление и алгоритмический анализ взаимно дополняют и ограничивают друг друга.

4. Правовое измерение: ИИ и механизмы защиты интеллектуальной собственности

Правовые аспекты использования ИИ в кинематографе приобрели острый социальный характер в 2023 г., когда разразилась масштабная забастовка гильдий актёров и сценаристов Голливуда. Участники протестов добивались введения жёстких ограничений на применение нейросетей в кинопроизводстве – в частности, запрета на использование изображений и голосов актёров без их согласия и соответствующего вознаграждения [2]. По итогам переговоров профсоюзу SAG-AFTRA удалось достичь беспрецедентного за сорок лет роста минимальной заработной платы, закрепить механизм компенсаций за использование ИИ для воспроизведения актёрских образов, а также внедрить новую систему отчислений со стриминговых платформ. Данный прецедент наглядно обнажил системное несоответствие между динамикой технологического развития и инертностью существующих правовых механизмов.

В отечественном законодательстве ключевым нормативным актом в данной сфере остаётся Национальная стратегия развития технологий в области искусственного интеллекта до 2030 г., утверждённая Указом Президента РФ № 490 от 10 октября 2019 г. Согласно Стратегии, ИИ представляет собой комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека и получать результаты, сопоставимые с результатами интеллекту-

альной деятельности человека или превосходящие их. В цивилистической доктрине сложились три основных подхода к правовому статусу ИИ: признание его особой разновидностью юридического лица; введение категории «электронного лица»; квалификация ИИ как особого объекта гражданского права – разновидности программы для ЭВМ [6]. Последняя позиция представляется наиболее убедительной: отсутствие у ИИ воли и сознания делает наделение его полноценной правосубъектностью теоретически несостоятельным и практически излишним.

Особую остроту сохраняет проблема авторства произведений, созданных с участием ИИ. Действующая концепция авторского права предполагает наличие человека-автора, обладающего личными неимущественными правами на произведение. Применительно к контенту, сгенерированному нейронными сетями, этот субъект формально отсутствует. Ряд исследователей предлагает признавать исключительные права на подобные произведения за разработчиком соответствующей технологии [8]; данная позиция заслуживает внимания, однако не устраняет концептуальной проблемы: в ситуации, когда алгоритм принимает самостоятельные художественные решения, традиционная логика интеллектуальной собственности требует существенного переосмысления.

Самостоятельного правового регулирования требуют технологии дипфейк и замены лиц, широко применяемые в современном кинопроизводстве. Без надлежащего нормативного закрепления подобные инструменты способны нанести ущерб репутации реальных лиц, нарушить их имущественные интересы и создать риски иных негативных последствий [9]. Практика опережает право: технологические возможности уже давно обогнали правовую регламентацию, и разрыв между ними продолжает увеличиваться.

5. Заключение

Проведённый анализ позволяет сформулировать ряд содержательных выводов.

Во-первых, ИИ прочно вошёл во все ключевые этапы современного кинопроизводства – от препродакшна до постпродакшна, и этот процесс носит необратимый характер. ИИ объективно сокращает сроки и бюджеты производства, расширяет технические возможности для реализации художественных замыслов и создаёт условия для демократизации кинематографа.

Во-вторых, интеграция ИИ в кинопроизводство влечёт качественную трансформацию визуального языка кино и создаёт новую конфигурацию авторства. Возникающий «алгоритмический реализм» формирует иной тип эстетических норм, в котором человеческое художественное мышление и алгоритмический анализ находятся в постоянном диалоге. Ключевым вызовом становится сохранение индивидуального авторского начала в условиях, когда значительная часть визуальных решений реализуется системами, обученными на коллективных базах данных.

В-третьих, существующие правовые механизмы – как отечественные, так и зарубежные – не успевают за темпами технологического развития. Вопросы авторства произведений, созданных ИИ, правового статуса самого ИИ и защиты трудовых прав творческих работников требуют безотлагательного нормативного урегулирования с учётом интересов всех участников кинопроцесса.

В-четвёртых, будущее кинематографа определяется не выбором между человеком и алгоритмом, а характером их взаимодействия. Освоение профессионального мастерства во всех его аспектах – сценарном, режиссёрском, операторском, продюсерском – остаётся фундаментальным условием осмысленного и ответственного использования интеллектуальных инструментов [10]. ИИ, рассматриваемый как расширение творческих возможностей человека, а не как их субститут, способен стать мощным катализатором художественных инноваций и открыть кинематографу горизонты, которые прежде были физически недостижимы.

Список литературы

1. Базен А. Что такое кино? / А. Базен; пер. В. В. Божович. – Москва : Искусство, 1972. – 384 с.

2. Белоусов, В. Н. Искусственный интеллект и его использование в киноиндустрии: цивилистический аспект / В. Н. Белоусов, М. А. Фойгель // Аграрное и земельное право. – 2025. – № 5. – С. 272–275.

3. Белькова, Е. Г. Произведения, созданные технологиями искусственного интеллекта / Е. Г. Белькова // Академический юридический журнал. – 2022. – Т. 23. – № 2. – С. 153–160. DOI: 10.17150/1819-0928.2022.23(2).153-160.

4. Вознесенская, Д. Л. Искусственный интеллект в кинематографе и перспективы его развития / Д. Л. Вознесенская // Экранные искусства в ракурсе современной культуры: материалы VI Всероссийской научной конференции. – Ростов-на-Дону, 2025. – С. 254–259.

5. Мастерство продюсера кино и телевидения: учебник; под ред. П. К. Огурчикова, В. В. Падейского, В. И. Сидоренко. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 863 с.

6. Морхат, П. М. Право и искусственный интеллект / П. М. Морхат. – Москва : Юрсервитум, 2021. – 513 с.

7. Юсупова, Н. Ю. Искусственный интеллект и визуальный стиль фильма: трансформация киноязыка в эпоху алгоритмов / Н. Ю. Юсупова // Oriental Art and Culture. – 2025. – Vol. 6. – Issue 5. – С. 206–212.

8. Azzarelli A., Anantrasirichai N., Bull D. Intelligent Cinematography: a review of AI research for cinematographic production // Artificial Intelligence Review. – 2025. – Vol. 58 (4). – DOI: 10.1007/s10462-024-11089-3.

9. Kirchengast T. Deepfakes and image manipulation: criminalisation and control // Information & Communications Technology Law. – 2020. – Vol. 29 (3). – P. 308–323. DOI: 10.1080/13600834.2020.1794615.

10. Manovich L., Arielli E. Artificial aesthetics [Электронный ресурс]. – URL: https://manovich.net/index.php/projects/artificial-aesthetics (дата обращения: 01.06.2026).

УДК 7.08:004.8

ЧЕЛОВЕК И ИИ КАК СОАВТОРЫ: ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ТВОРЧЕСТВА В ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЕ

Низамутдинова З.Ф., научный сотрудник Института Татарской энциклопедии и регионоведения им. М. Хасанова Академии наук Республики Татарстан;
ORCID: 0000-0002-6933-5867;
Козырева Д.И., студент Института филологии и межкультурной коммуникации Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-7603-063X

HUMANS AND AI AS CO-AUTHORS: REDEFINING THE BOUNDARIES OF ARTISTIC CREATIVITY IN DIGITAL CULTURE

Nizamutdinova Z.F., Researcher at the M. Khasanov Institute of the Tatar Encyclopedia and Regional Studies of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0002-6933-5867;
Kozyreva D.I., student, Institute of Philology and Intercultural Communication of Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-7603-063X

Аннотация

Работа посвящена трансформации авторства в эпоху генеративных нейросетей. На материале публикаций 2022–2026 годов и художественных практик (Obvious Collective, проект

«Рембрандт», судебные споры) показано, что алгоритм эволюционировал от инструмента до партнёра, порождающего непредусмотренные решения. Ключевой сдвиг – перенос человеческого усилия с исполнения на формулирование задачи и отбор результатов. Проанализированы три модели атрибуции – инструментальная, распределённая и институционально-правовая; выявлено, что их расхождение носит ценностный характер. Предложена типология режимов взаимодействия: инструментальный, диалогический, кураторский и делегирующий. Установлено: соавторство легитимно, пока человек сохраняет ответственность за замысел и смысловую рамку; полное делегирование переводит результат в разряд продукта. Отдельно рассмотрена проблема происхождения обучающих данных. Результаты применимы в теории искусства, кураторской практике и при разработке требований к маркировке ИИ-произведений.

Ключевые слова: авторство, соавторство, генеративный искусственный интеллект, цифровая культура, художественное творчество, распределённая агентность, нейросетевое искусство, промпт, атрибуция, творческие индустрии

Abstract

The paper examines the transformation of authorship in the era of generative neural networks. Drawing on publications from 2022–2026 and artistic practices (Obvious Collective, the “Rembrandt” project, legal disputes), it demonstrates that the algorithm has evolved from a tool into a partner capable of generating unforeseen visual solutions. The key shift lies in relocating human effort from execution to task formulation and result curation. Three models of attribution are analyzed-instrumental, distributed, and institutional-legal-revealing that their divergence is value-based rather than terminological. A typology of human–AI interaction modes is proposed: instrumental, dialogic, curatorial, and delegative. The study establishes that co-authorship retains artistic legitimacy as long as the human retains responsibility for the concept, selection, and semantic framing of the work; full delegation of these operations to the algorithm reclassifies the output as a product rather than an artistic statement. The issue of training data provenance is addressed separately. The findings are applicable to art theory, curatorial practice, and the development of labeling requirements for AI-assisted artworks.

Keywords: authorship, co-authorship, generative artificial intelligence, digital culture, artistic creativity, distributed agency, neural network art, prompt, attribution, creative industries

Спор о том, способна ли машина творить, намного старше нейросетей, однако до недавнего времени он оставался умозрительным: результат работы программы был полностью выводим из инструкций программиста. Ситуация изменилась не тогда, когда алгоритмы стали мощнее, а тогда, когда они стали непредсказуемыми для собственных пользователей. Диффузионная модель, получив словесное описание, воплощает изображение, которого автор запроса не держал в голове, и именно этот зазор между намерением и результатом породил вопрос о соавторстве. Предмет анализа – культурная проекция: как под давлением новых практик перестраивается понятие автора, сложившееся в европейской традиции вокруг фигуры уникального творца. Проблема имеет отчётливое практическое измерение, поскольку аукционные дома продают работы, подписанные формулой алгоритма, музеи включают машинную графику в экспозиции, а гражданское законодательство большинства стран по-прежнему признаёт автором исключительно физическое лицо.

Цель работы – определить, при каких условиях взаимодействие художника и генеративной системы допустимо описывать как соавторство, а при каких оно перестаёт быть человеческим творчеством. Отсюда три задачи: проследить эволюцию статуса ИИ от инструмента к участнику процесса, реконструировать конкурирующие модели атрибуции и предложить критерий разграничения режимов совместной работы. Материалом послужили публикации 2022-2026 годов, дисциплинарно разнородные по замыслу – искусствоведение и культуроло-

гия, обзоры творческих индустрий, правовая доктрина, – поскольку эстетическое, техническое и юридическое понимания творческого вклада расходятся. Использованы концептуальный анализ, компаративистика и типологизация.

Обзорные работы начала 2020-х годов фиксируют ИИ ещё в служебной позиции. Е. Цетинич и Дж. Ше разделяют применение алгоритмов на анализ уже созданного искусства и генерацию новых артефактов, причём второе описывается как экспериментальное и периферийное [10, с. 1]. Н. Анантрасиричай и Д. Булл заключают: максимальную пользу технология приносит там, где спроектирована как усиление человеческого творчества, а не как его замещение [7, с. 589]. Позже, тот же коллектив меняет позицию прямо: Н. Анантрасиричай, Ф. Чжан и Д. Булл относят ИИ уже не к вспомогательным средствам, а к базовым творческим технологиям [8]. Причина сдвига инженерная: пока система выполняла узкую задачу, её вклад отделялся от вклада человека, тогда как мультизадачные модели сделали такое отделение неосуществимым.

Практика двигалась быстрее теории. А.В. Прыгунова, разбирая работу парижского объединения «Obvious Collective», описывает создание портрета «Эдмон де Белами»: генеративно-состязательная сеть обработала около 14 тыс. портретов XIV-XX веков и выдала более 1 тыс. изображений, из которых участники группы отобрали убедительные, напечатали холст, поместили в раму и подписали алгебраической формулой вместо имени [3, с. 128]. Christie's оценил работу примерно в 450 тыс. долларов, позднее произведения коллектива экспонировались в Эрмитаже, и оценка кураторов оказалась характерной: технологичное искусство уже заняло собственную нишу [3, с. 127]. Признание, следовательно, было получено извне – от рынка и музейной институции.

Существенно и другое наблюдение исследователя: у машины обнаруживается собственный «художественный штрих». Размытость контуров, растворение анатомических правил, текучесть форм воспроизводятся систематически и опознаются зрителем как стилевая черта; инженер Ф. Шолле предложил для этой эстетики имя GANism [3, с. 130]. Инструмент с узнаваемой манерой перестаёт быть нейтральным, и здесь проходит грань между нейросетью и кистью: кисть сопротивляется, ограничивает, задаёт фактуру, но не выдвигает вариантов, а генеративная модель предлагает то, чего художник не сформулировал бы сам. Показателен контрастный случай – профинансированный в 2016 году нидерландской ING Group при участии Microsoft проект «Следующий Рембрандт», где алгоритм на материале более чем трёхсот работ мастера синтезировал изображение в его манере [3, с. 130]. Задача была реконструктивной, и сопоставление проясняет смазываемую разницу: «Белами» ценен непредвиденностью результата, «Следующий Рембрандт» – предсказуемостью, и лишь в первом случае претензия на соавторство осмысленна.

Ю.Ф. Катханова и А.И. Корыгин помещают эти практики в широкий процесс сближения искусства с инженерными областями, где цифровая парадигма меняет не только средства выражения, но и структуру восприятия произведения [4]. Узнаваемая манера, впрочем, не равнозначна намерению. А.И. Криман описывает творческий акт как пространство диалога и симпоэзиса, где возникает распределённая агентность и стираются оппозиции человеческого и не-человеческого [1, с. 91]. Формулировка точна, и вместе с тем уязвима: она фиксирует, что действие производится сетью участников, и умалчивает о том, кто способен отвечать за смысл произведения. Способность порождать новое и способность стремиться к новому принадлежат разным порядкам, а значит, перемена в статусе искусственного интеллекта произошла на уровне операций и не затронула уровня субъекта.

Обсуждение авторства в цифровой культуре закономерно обращается к наследию Р. Барта. А.В. Прыгунова и Н.В. Литвак предлагают дополнить треугольник «автор-скриптор – читатель – текст» четвёртым элементом, получив квадрат отношений, в который вписан искусственный интеллект [2; 3, с. 129]. Данный ход требует оговорки: «Смерть автора» смещала центр к читателю, то есть на иную человеческую инстанцию, занятую истолкованием, тогда

как машина истолкованием не занимается и вычисляет распределение вероятностей. Достроенная фигура сохраняет силу метафоры и утрачивает силу аргумента.

Отсюда вырастают три несводимые модели авторства.

1. Инструментальная настаивает, что автором остаётся человек независимо от сложности посредника; её сила в преемственности, ведь фотография и цифровой монтаж проходили ту же проверку, а слабость видна там, где вклад человека сжимается до нескольких слов запроса.

2. Постгуманистическая модель признаёт произведение результатом работы гетерогенной сети, включающей художника, датасет, архитектуру модели, разработчиков и институции показа [1, с. 95]; она честнее описывает механику, но сеть невозможно ни наградить, ни привлечь к ответственности.

3. Институционально-правовую позицию разбирает И.В. Овчинников, приводя аргумент Дж. Гинзбург: отдающий команду автором не становится – Юлий II заказал роспись потолка Сикстинской капеллы, но по Бернской конвенции автором остаётся Микеланджело [5]. Промпт, следовательно, есть заказ, а не творческий труд, а «продюсерский» подход английского права наталкивается на невозможность вычленить решающее звено среди разработчика модели, владельца выборки и пользователя.

3. Эпштейн и А. Херцманн предлагают видеть в генеративном ИИ не предвестника гибели искусства, а новую среду со специфическими возможностями, снижающую порог входа [6, с. 1110]. Среда не претендует на авторство: оно удерживается тем, кто в ней работает и подписывает результат, – как действовало объединение «Obvious», ставившее подпись, выбиравшее раму, формировавшее серию [3, с. 131]. Авторство, таким образом, становится не свойством процесса, а результатом акта присвоения, и автором признаётся тот, кто взял ответственность за высказывание перед публикой и институциями.

Если авторство есть присвоение, оно поддаётся градации, и вопрос «человек или машина» уступает место вопросу о том, где принимается решение, определяющее облик произведения. Критерий локуса творческого решения работоспособнее доли машинной обработки: объём вычислений ничего не сообщает о художественной ответственности. Сводная типология режимов представлена в таблице1.

Таблица 1

Режимы взаимодействия человека и генеративной системы

Режим	Функция ИИ	Локус творческого решения	Статус результата
Инструментальный	Ускорение рутинных операций, ретушь, апскейлинг	Целиком у человека	Произведение автора
Диалогический	Порождение вариантов в ответ на итеративный запрос	Распределён, финальное решение за человеком	Произведение автора при участии системы
Кураторский	Массовая генерация материала	Отбор, монтаж, смысловая рамка за человеком	Произведение автора-куратора
Делегирующий	Полный цикл от замысла до вывода	У системы; человек задаёт общий запрос	Продукт генерации

Первые три режима сохраняют художественную легитимность, четвёртый её утрачивает, и разграничительная линия проходит не там, где её обычно ищут. Дело не в проценте машинного участия: работа, почти целиком сгенерированная моделью, но прошедшая жёсткий авторский отбор и включённая в продуманную серию, остаётся высказыванием человека,

тогда как изображение по односложному запросу, опубликованное без изменений, им не является. Косвенное подтверждение приходит из инженерной литературы: Н. Анантрасиричай, Ф. Чжан и Д. Булл подчёркивают, что человеческий контроль необходим для задания творческого направления и компенсации галлюцинаций модели [8]. В терминах эстетики это значит, что система не удерживает замысел, а отвечает лишь на его фрагментарные проявления.

Существует и вторая граница, лежащая вне механики процесса. Х. Цзян, Т. Гебру и их соавторы, опросив профессиональных художников, зафиксировали устойчивое восприятие генеративных систем как экономической и символической угрозы, связанной прежде всего с обучением моделей на массивах их работ без явного согласия; предлагаемая мера – обязательное раскрытие состава обучающих данных [9, с. 363]. Спор давно вышел за пределы деклараций: И.В. Овчинников описывает иски к компании Stability AI, владельцу сети Stable Diffusion, где истцом выступает в том числе фотобанк Getty Images, а также претензии к Midjourney [5]. Технически проблема сводится к эффекту меморизации – воспроизведению сетью запомненных обучающих изображений; вероятность этого оценивается примерно в 0,03% и возрастает при повторении изображения в датасете, а предельное её выражение М. Сэг назвал «проблемой Снупи»: узнаваемый персонаж есть устойчивый набор черт, который модель воспроизведёт по одному упоминанию имени [5]. Соавторство с системой, натренированной на неправомерно собранном корпусе, сомнительно независимо от глубины авторской переработки, и этическая оценка здесь не выводится из эстетической.

Новое распределение ролей сопряжено и с потерями: разрывается связь между замыслом и телесным исполнением, веками служившая опорой профессиональной идентичности. Ю.Ф. Катханова и А.И. Корыгин видят встречный процесс – обогащение художественного языка средствами, ранее недоступными отдельному автору [4]. Обе оценки совместимы: снижение порога входа [6, с. 1110] расширяет круг участников культурного производства и обесценивает отдельные виды компетенции. Есть и редко замечаемая асимметрия – машина не может отказаться от результата, человек может: возможность отвергнуть всю сгенерированную серию недоступна алгоритму, у которого нет критерия, внешнего по отношению к обучающему распределению. В праве вето, а не в способности порождать формы, сосредоточено сегодня специфически человеческое; поэтому кураторский режим, при котором художник почти ничего не рисует, но отвергает почти всё, остаётся полноценным авторством.

Обобщая изложенное, отметим следующее. Статус искусственного интеллекта, таким образом, изменился реально, а не риторически, но в измерении операционном: алгоритм приобрёл функцию предложения, не приобретя интенции [7, с. 589; 8]. Концепт автора не разрушается, а перестраивается, поскольку три модели атрибуции опираются на несовпадающие ценности – непрерывность традиции, точность описания, работоспособность оборота прав – и работающим компромиссом оказывается понимание авторства как акта присвоения. Разграничение допустимого и недопустимого соавторства целесообразно строить по локусу творческого решения: инструментальный, диалогический и кураторский режимы сохраняют человеческое авторство, тогда как делегирующий переводит результат в разряд продукта генерации; самостоятельное основание образует происхождение обучающей выборки. Дальнейшая работа предполагает проверку типологии на материале выставочных проектов последних лет и выработку операциональных критериев маркировки, различающих не факт применения ИИ, а режим его применения.

Список литературы

1. Криман А.И. Феномен творчества в эпоху искусственного интеллекта // Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. 2025. № 3. С. 91-99.

2. Прыгунова А.В., Литвак Н.В. Концепция «Смерть автора» Р. Барта и авторство во взаимодействии с искусственным интеллектом // Вестник РГГУ. Серия «Философия. Социология. Искусствоведение». 2025. № 1. С. 86-100.

3. Прыгунова А.В. Влияние искусственного интеллекта на художественное творчество: исследование практик французской арт-группы «Obvious Collective» // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Гуманитарные науки. 2025. Вып. 5 (899). С. 126-132.

4. Катханова Ю.Ф., Корыгин А.И. Влияние цифровых технологий на искусство // Преподаватель XXI век. 2024. № 2, ч. 1. С. 222-231.

5. Овчинников И.В. Генеративный искусственный интеллект и авторское право // Журнал Суда по интеллектуальным правам. 2025. № 1 (47). С. 74-82.

6. Epstein Z., Hertzmann A., Akten M. [et al.]. Art and the science of generative AI // Science. 2023. Vol. 380, № 6650. P. 1110-1111.

7. Anantrasirichai N., Bull D. Artificial intelligence in the creative industries: a review // Artificial Intelligence Review. 2022. Vol. 55, № 1. P. 589-656.

8. Anantrasirichai N., Zhang F., Bull D. Advances in artificial intelligence: a review for the creative industries // Artificial Intelligence Review. 2026. Vol. 59, № 3. Article 89.

9. Jiang H.H., Brown L., Cheng J. [et al.]. AI Art and its Impact on Artists // Proceedings of the 2023 AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society (AIES '23). New York: ACM, 2023. P. 363-374.

10. Cetinic E., She J. Understanding and Creating Art with AI: Review and Outlook // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications. 2022. Vol. 18, № 2. Article 66. 22 p.

УДК 004.8:159.9

ТВОРЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Потапов А.С., к.пед.н., директор Центра непрерывного образования;
ORCID: 0009-0000-0949-1422;
Кириллова А.А., преподаватель ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры, г. Казань, Россия

CREATIVE ACTIVITIES IN THE CONTEXT OF HUMAN INTERACTION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS

Potapov A.S., PhD in Pedagogy, Director of the Center for Continuing Education;
ORCID: 0009-0000-0949-1422;
Kirillova A.A., Lecturer at the Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

В статье проводится философско-психологический анализ творческой деятельности в условиях нарастающего взаимодействия человека с системами искусственного интеллекта. Предлагается двухэтапная модель творческого процесса, разграничивающая поисковый и композиционный аспекты, и оценивается применимость каждого из них к современным интеллектуальным системам. Систематизируются данные о результатах использования искусственного интеллекта в роли самостоятельного творческого субъекта, а также в роли инструмента оценки и развития человеческой креативности. Выявляются ключевые ограничения, обусловленные отсутствием у систем искусственного интеллекта полноценного аналога базы знаний здравого смысла. Обосновывается вывод о том, что наиболее продуктивным форматом взаимодействия человека и искусственного интеллекта в творческой деятельности высту-

пает полноценное соавторство, при котором человек сохраняет ведущую роль в генерации принципиально новых идей и смыслов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, творческий процесс, креативность, базы знаний здравого смысла, человеко-машинное взаимодействие, оценивание креативности, дивергентное мышление

Abstract

This article provides a philosophical and psychological analysis of creative activity in the context of the growing interaction between humans and artificial intelligence systems. A two-stage model of the creative process is proposed, distinguishing between exploratory and compositional aspects, and the applicability of each to modern intelligent systems is assessed. Data on the results of using artificial intelligence as an independent creative agent and as a tool for assessing and developing human creativity are systematized. Key limitations due to the lack of a fully functional common-sense knowledge base in artificial intelligence systems are identified. The article substantiates the conclusion that the most productive format for human-artificial intelligence interaction in creative activity is full-fledged co-authorship, in which humans retain the leading role in generating fundamentally new ideas and meanings.

Keywords: artificial intelligence, creative process, creativity, common-sense knowledge bases, human-computer interaction, creativity assessment, divergent thinking

Введение

Технологический прогресс последних десятилетий породил принципиально новую ситуацию, при которой машинные системы всё настойчивее заявляют о своём присутствии в тех сферах деятельности, которые традиционно считались исключительной прерогативой человека. Среди них особое место занимает творчество. Если прежде исследователи могли с достаточной уверенностью утверждать, что создание подлинно нового остаётся недоступным для компьютера, то сегодня эта уверенность заметно поколебалась. Системы искусственного интеллекта (далее – ИИ) уже пишут музыкальные произведения, создают визуальные образы, составляют тексты. Вопрос о том, является ли это подлинным творчеством или лишь его имитацией, перестал быть риторическим.

По мнению А.Ю. Алексеева, именно проблема творчества занимает доминирующее положение в исследовательской повестке дня, связанной с созданием интеллектуальных систем [3]. Данная проблема требует рассмотрения сразу в нескольких плоскостях: философской – как вопрос о природе субъекта и акта творения, когнитивно-психологической – как вопрос о механизмах и условиях творческой деятельности, и прикладной – как вопрос об оптимальных стратегиях взаимодействия человека с ИИ в различных профессиональных и образовательных контекстах [2].

Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы, опираясь на имеющиеся теоретические разработки и результаты эмпирических исследований, осмыслить творческую деятельность применительно к системам ИИ, выявить ключевые точки разграничения между возможностями машины и человека, а также определить форматы их взаимодействия, обеспечивающие наилучший творческий результат.

Структура творческого процесса и её применимость к системам ИИ

Прежде чем обсуждать творческие способности ИИ, необходимо уточнить, что именно понимается под творческим процессом. В самом широком смысле творчество означает создание нового. Принятие этого критерия как исходного открывает, на первый взгляд, широкую возможность для признания машинных систем субъектами творчества, поскольку продукты их деятельности нередко обладают признаком новизны. В данном плане ИИ, как и человек, также способен на творчество [1]. Тем не менее простой апелляции к новизне явно недостаточно: необходим анализ самого процесса, приводящего к этому результату.

Творческий процесс в системах с ИИ можно представить как длящееся во времени целенаправленное преобразование, подразумевающее отражение некоторой области действительности и конструирование нового продукта [1]. В структуре этого процесса принципиально различаются два этапа.

Поисковый этап предполагает постановку творческой задачи, формирование первичных ориентиров и выработку стратегии движения к новому результату в условиях принципиальной неопределённости. На этом этапе огромное значение имеет то, что принято называть здравым смыслом, – способность действовать разумно в нечётко заданных ситуациях, опираясь на интуицию, накопленный жизненный опыт и многоплановое понимание контекста. Человек справляется с подобными задачами сравнительно легко именно потому, что располагает колоссальным объёмом неявного знания, приобретённого в ходе непосредственного взаимодействия с предметным миром и социальной средой, начиная с самого раннего детства [1]. Для машинных систем именно поисковый этап представляет наибольшую сложность.

Второй этап – композиционный – связан с конструированием нового продукта путём выбора из множества возможных комбинаций уже имеющихся элементов. Здесь проявляются наиболее весомые сильные стороны современных интеллектуальных систем: ИИ способен обрабатывать гигантские массивы данных и методично перебирать варианты в многомерном пространстве возможных решений [1]. Стратегии такого комбинаторного творчества хорошо известны: размещение знакомых объектов в непривычном контексте, слияние разнородных жанровых признаков, привнесение неожиданных особенностей в устоявшиеся конструкции. Показательным примером реализации машинного творчества именно на этом уровне служит система Iamus, созданная в Университете Малаги (Испания), которая, опираясь на технологию Melomics и хранилище, насчитывающее более миллиарда музыкальных образцов, смогла без участия человека создать симфонические произведения в собственном оригинальном стиле. Дебютный альбом системы был записан Лондонским симфоническим оркестром в 2012 г. и охарактеризован как первое крупное произведение, созданное компьютером для исполнения целым оркестром [6].

Проблема базы знаний здравого смысла

Главным ограничением систем ИИ на пути к полноценному творчеству остаётся отсутствие у них развитого аналога человеческого здравого смысла. Число атомарных фактов, которыми располагает среднестатистический взрослый человек, огромно, и при этом значительная их часть носит неявный, невербализуемый характер. Профессор информатики Р. Слоун из Университета штата Иллинойс в Чикаго констатировал: «Мы все знаем огромное количество вещей... мы узнавали всё это, начиная с младенческого возраста, когда мы ползали, дёргали и тянули разные вещи, наблюдая за их падением. Именно так мы узнали, что кошки и собаки не очень приветствуют то, когда их дёргают за хвост, и именно так мы узнаём множество других неочевидных фактов, которые пока ещё полностью непонятны системам ИИ» [5]. По имеющимся оценкам, интеллект наиболее мощного суперкомпьютера с системой ИИ не превышает уровня четырёхлетнего ребёнка [5]. За этой цифрой стоит не вычислительная слабость машины, а принципиальное отсутствие у неё той укоренённости в мире, которая составляет основу человеческого познания.

Наиболее масштабной попыткой создать базу знаний здравого смысла для систем ИИ остаётся проект Cyc (OpenCyc): последняя версия системы включает порядка 239 000 понятий и более 2 млн фактов. Тем не менее, даже этот колоссальный объём структурированного знания не позволяет системе уверенно ориентироваться в задачах, требующих выхода за пределы формализованной информации [1]. Данная ситуация означает, что системы с ИИ пока не могут на равных соревноваться с человеком на стадии поискового этапа творческого процесса именно ввиду отсутствия в их распоряжении базы данных, сравнимой с человеческим потенциалом здравого смысла. Примечательно, что попытки преодолеть эту проблему через применение многозначной логики и систем нечёткого вывода [19] также не принесли ожи-

даемого результата: человек по-прежнему существенно превосходит машину в способности принимать разумные решения в плохо структурированных условиях.

ИИ как самостоятельный субъект творческой деятельности

Обратимся к данным исследований, непосредственно изучавших творческий потенциал ИИ в его самостоятельном, независимом от человека применении. Одним из наиболее распространённых инструментов в этой области остаётся классическое задание Дж. Гилфорда на альтернативное использование предметов. Результаты ряда исследований показали, что современные языковые модели способны генерировать ответы с более высокой средней оригинальностью по сравнению с ответами живых участников, причём как при семантическом анализе, так и по результатам экспертной оценки [11]. Вместе с тем ИИ в этих исследованиях не порождал ответов с экстремально высокой оригинальностью – того уровня, которого порой достигают наиболее одарённые люди. Иначе говоря, ИИ обнаруживает стабильно хорошие, но редко исключительные результаты.

В других исследованиях в рамках аналогичных задач ИИ продемонстрировал более высокую практическую применимость предложенных ответов, однако по гибкости, оригинальности и неожиданности уступил человеку [12]. Авторы допускают, что данная тенденция может быть изменена в более поздних и мощных моделях. Это предположение нашло подтверждение: языковые модели следующего поколения превзошли человека сразу в нескольких задачах на дивергентное мышление – альтернативное использование предметов, задаче на последствия и дивергентные ассоциации [13]. Принципиально важно, что временной разрыв между описанными поколениями систем составил всего два года, что даёт веские основания ожидать нарастающего превосходства ИИ над человеком в целом ряде творческих задач уже в ближайшей перспективе.

Картина существенно меняется, когда речь заходит о тех видах творчества, где ценность продукта определяется не оригинальностью отдельных решений, а смысловой целостностью и художественной глубиной. Качественный анализ литературных текстов, созданных генеративными моделями ИИ, показал их недостаточное соответствие критериям повествовательной сложности и документальной подлинности [14]. Живой автор не просто обрабатывает словарный запас: он выстраивает внутренне связный художественный мир, насыщает текст оригинальными образами и метафорами, вкладывает в него личный опыт и эмоциональную память. Именно это измерение остаётся труднодостижимым для машинных систем, функционирующих вне контекста прожитой жизни.

ИИ в оценивании и развитии творческих способностей

Наряду с попытками задействовать ИИ в роли самостоятельного творческого субъекта активно развивается направление, связанное с его применением для оценки и стимулирования человеческой креативности. В образовательном контексте ИИ потенциально способен обеспечить более объективную и непредвзятую оценку творческих работ учащихся, свободную от выраженных субъективных предпочтений эксперта [2]. Возможности внедрения таких технологий в сферу образования обсуждаются в ряде работ последних лет [20], и интерес к данной проблематике неуклонно возрастает.

Исследования показали, что применение моделей машинного обучения к результатам рисуночных тестов креативности позволяет достичь уровня компьютерной оценки, сопоставимого по точности с квалифицированной экспертной оценкой [8]. Это открывает реальную перспективу для масштабирования диагностики творческих способностей, что особенно значимо в контексте своевременного выявления и поддержки одарённых учащихся. Вместе с тем автоматизированные процедуры оценивания не свободны от специфических рисков, связанных с возможными систематическими ошибками языковых моделей, обусловленными несовершенством обучающих данных [2].

С психологической точки зрения особый интерес представляют два противонаправленных эффекта, обнаруженных при изучении реакций на машинную обратную связь: «эф-

фект развёртывания» и «эффект раскрытия» [10]. Первый состоит в том, что ИИ, в отличие от руководителей-людей, обеспечивает более широкую и детальную обратную связь, благодаря чему производительность труда сотрудников в одном из экспериментальных исследований возросла на 12,9% [10]. Однако второй эффект носит прямо противоположный характер: когда работникам заранее сообщали, что их оценивает именно машина, их производительность оказывалась на 5,4% ниже, чем у тех, кому говорили об оценке человека-менеджера. За этим стоят сниженное доверие к машинной системе и тревога по поводу возможного замещения на рабочем месте [10]. Данный факт красноречиво свидетельствует о том, что психологическая готовность людей к взаимодействию с ИИ представляет собой самостоятельный фактор, от которого во многом зависит реальная эффективность таких систем.

В связи с этим в литературе сформулирован ряд рекомендаций, следование которым может позволить сохранить преимущества ИИ в оценивании и одновременно нейтрализовать его нежелательные последствия [2]. Во-первых, образовательным учреждениям необходимо пересмотреть критерии академической честности: традиционные форматы контроля знаний – стандартные рефераты, эссе по заданному шаблону – теряют смысл в условиях, когда генеративные системы общедоступны. Во-вторых, акцент в оценивании должен смещаться с репродуктивных заданий на задачи, предполагающие критический анализ, решение практических проблем и подлинное творческое мышление. В-третьих, педагоги сами нуждаются в систематическом повышении компетентности в области ИИ: лишь педагог, хорошо понимающий возможности и ограничения этих систем, способен использовать их ответственно и продуктивно.

Форматы совместного творчества человека и ИИ

Одним из наиболее практически значимых вопросов является вопрос о том, какой именно формат взаимодействия человека с ИИ в творческой деятельности оказывается наиболее результативным. Имеющиеся исследования позволяют выделить несколько устойчивых моделей.

Первая предполагает использование ИИ как источника первичного материала, который затем перерабатывается человеком в роли редактора. Применение этой схемы при написании художественных текстов показало, что произведения, созданные с ИИ-поддержкой, оцениваются экспертами как более уместные и правдоподобные, однако менее оригинальные, чем написанные без машинной ассистенции [15]. Данный эффект особенно выражен у людей с высоким уровнем исходной креативности: для них привлечение ИИ не даёт прироста оригинальности, хотя для людей с невысоким творческим потенциалом машинная поддержка оказывается существенным ресурсом.

Принципиально иная картина характерна для модели настоящего соавторства. Сравнительное исследование трёх форматов написания стихотворений – без ИИ, в режиме совместного творчества и в режиме редактирования текста, предложенного ИИ, – показало, что именно редакторский формат порождает наиболее низкий уровень оригинальности итогового текста [16]. Авторы связывают этот результат с тем, что позиция редактора ограничивает творческую самостоятельность человека: принимая за основу чужой – пусть и машинный – текст, он невольно сужает пространство собственной творческой инициативы. Из этого вытекает важный практический вывод: для того чтобы сполна использовать потенциал генеративного ИИ в совместном творчестве, человек должен занимать позицию соавтора, а не редактора [16].

В области визуального творчества наблюдаются свои закономерности. Исследование работ художников, использовавших ИИ-инструменты для создания изображений, показало, что индивидуальная продуктивность авторов возросла на 25%, а вероятность получения положительной экспертной оценки увеличилась на 50%. Вместе с тем суммарная новизна создаваемого контента заметно снизилась: работы с участием ИИ значительно реже воспринимались как явления, вносящие подлинный вклад в развитие искусства [17]. Это соображение говорит в пользу того, что ИИ-инструменты оптимально применять там, где решающее значение име-

ет продуктивность и стабильное качество, тогда как прорывная оригинальность по-прежнему остаётся прерогативой человека.

В связи с растущим многообразием форматов взаимодействия человека с ИИ в научном обиходе было предложено понятие «относительная креативность» применительно к оценке результатов машинных систем [18]. По аналогии с тестом Тьюринга, система ИИ считается «относительно креативной», если её продукция неотличима от произведений некоего правдоподобного, но гипотетического человека-творца. Данная концепция позволяет учесть принципиальную относительность и контекстуальную обусловленность самого критерия оригинальности, избегая навязывания единой абстрактной шкалы системам с принципиально различными архитектурами и задачами [18].

Перспективы взаимодействия человека и ИИ в сфере творчества

Историческое «возражение леди Лавлейс» утверждает, что компьютер принципиально не способен к самостоятельному творчеству, поскольку лишь исполняет предписания, содержащиеся в заложенной программе. Неявной предпосылкой этого возражения служит представление о единой шкале новизны, применимой ко всем субъектам деятельности без различия. Однако если чётко разграничить «новое для человека» и «новое для данной машинной системы», то обнаруживается, что ИИ вполне способен порождать нечто новое в пределах собственного операционального пространства [1]. Это разграничение открывает теоретическую возможность для признания систем ИИ субъектами пусть ограниченного, но реального творчества, не размывая при этом специфики человеческого творческого опыта.

Человек, даже сосредоточенный на узкоспециализированной задаче, когнитивно погружён в широкий социокультурный контекст, из которого черпает образы, ассоциации и вдохновение [9]. Его творческая деятельность питается многообразием прожитого, межличностными связями, эмоциональной памятью, ощущением причастности к культурной традиции. Именно это измерение остаётся принципиально недоступным для машины, функционирующей в рамках обучающих данных и заданных архитектурных решений. Следовательно, не конкуренция, а взаимодополнение составляет наиболее перспективную стратегию сосуществования человека и ИИ в пространстве творчества. Наилучший для человека вариант заключается в том, чтобы интеллектуальный прогресс человека постоянно опережал неминуемый прогресс искусственного разума [1].

Вместе с тем нарастающее присутствие ИИ в творческой жизни сопряжено с рисками, игнорировать которые было бы опрометчиво. Опыт показывает, что распространение интеллектуальных технологий, расширяя формально-логические возможности мышления, постепенно делает ненужным то, что ещё недавно входило в круг обязательного знания [7]. Чрезмерная опора на машинный интеллект без целенаправленных усилий по развитию собственных творческих способностей грозит их постепенной атрофией. Передача всё большего числа интеллектуальных функций машине влечёт за собой риск деградации человека как существа, способного к самостоятельному творческому поиску, особенно в условиях, когда именно эта способность становится главным преимуществом человека в мире, где ИИ продолжает стремительно совершенствоваться.

Заключение

Творческая деятельность в условиях взаимодействия с системами ИИ представляет собой многоплановый феномен, требующий дифференцированного осмысления. На поисковом этапе творческого процесса, где ключевую роль играют здравый смысл и неявное знание, системы ИИ по-прежнему значительно уступают человеку: ни один из существующих проектов создания баз знаний здравого смысла не позволил преодолеть этот разрыв. На композиционном же этапе ИИ обнаруживает значительный потенциал, реализуя поиск новых вариантов в многомерном пространстве возможных комбинаций.

Эмпирические данные свидетельствуют о том, что ИИ способен превзойти среднего человека по показателям оригинальности в ряде задач на дивергентное мышление, однако ис-

ключительные творческие достижения по-прежнему остаются привилегией наиболее одарённых людей. В области литературного и художественного творчества, предполагающего смысловую целостность и личностную укоренённость, преимущество человека сохраняется.

Наиболее продуктивным форматом взаимодействия с ИИ в совместном творчестве является полноценное соавторство, при котором человек сохраняет ведущую роль в выработке принципиально новых идей, а машина выступает инструментом расширения продуктивности и систематизации знаний. Дальнейшие исследования в этой области представляются особенно актуальными с учётом стремительного развития генеративных систем и нарастающей роли ИИ в профессиональной и образовательной деятельности человека.

Список литературы

1. Кудряшев, А. Ф. роцесс творчества в системах с искусственным интеллектом / А. Ф. Кудряшев, О. И. Елхова // Вестник Башкирского университета. – 2016. – Т. 21. № 4. – С. 1124–1128.

2. Вечерин, А. В. Искусственный интеллект в оценивании и развитии креативности / А. В. Вечерин, С. Р. Яголковский // Психология. Журнал Высшей школы экономики. – 2024. – Т. 21. № 4. – С. 787–799.

3. Алексеев, А. Ю. Проблема творчества в исследованиях искусственного интеллекта / А. Ю. Алексеев // Эпистемология креативности. – Москва : «Канон+» РООИ «Реабилитация», 2013. – С. 374–415.

4. Кудряшев, А. Ф. Общенаучная картина мира: старое в новом одеянии / А. Ф. Кудряшев, О. И. Елхова // Вестник БашГУ. – 2013. – Т. 18. № 4. – С. 1255–1259.

5. Darren Quick. Top notch AI system about as smart as a four-year-old, lacks commonsense // URL: http://www.gizmag.com/ai-system-iq-four-year-old/28321/ (дата обращения: 07.01.2014).

6. Peckham M. Finally, a Computer that Writes Contemporary Music without Human Help // New York Times. Jan. 04. – 2013.

7. Кудряшев, А. Ф. От человека-специалиста к человеку-потребителю / А. Ф. Кудряшев, О. И. Елхова // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2015. – № 3. – С. 12–16.

8. Cropley D. H., Theurer C., Mathijssen A. C. S., Marrone R. L. Fit-for-purpose creativity assessment: Automatic scoring of the Test of Creative Thinking – Drawing Production (TCT-DP) // Creativity Research Journal. Advance online publication. 2024.

9. Выготский, Л. С. Собрание сочинений: в 6 т. Т. 2 / Л. С. Выготский – Москва : Педагогика, 1982.

10. Tong S., Jia N., Luo X., Fang Z. The Janus face of artificial intelligence feedback: Deployment versus disclosure effects on employee performance // Strategic Management Journal. – 2021. – Vol. 42. № 9. – P. 1600–1631.

11. Koivisto M., Grassini S. Best humans still outperform artificial intelligence in a creative divergent thinking task // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. № 1. Article 13601.

12. Stevenson C., Smal I., Baas M., Grasman R., van der Maas H. Putting GPT-3's creativity to the (Alternative Uses) Test. arXiv. – 2022.

13. Hubert K. F., Awa K. N., Zabelina D. L. The current state of artificial intelligence generative language models is more creative than humans on divergent thinking tasks // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. № 1. Article 3440.

14. Komariah S. Assessment of AI's creativity in the literary text // Proceedings of the 7th International Conference on Language, Literature, Culture, and Education (ICOLLITE 2023). Atlantis Press International BV, 2024. – P. 430–438.

15. Doshi A. R., Hauser O. P. Generative artificial intelligence enhances creativity but reduces the diversity of novel content. arXiv. – 2023.

16. McGuire J., De Cremer D., Van de Cruys T. Establishing the importance of co-creation and self-efficacy in creative collaboration with artificial intelligence // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. № 1. Article 18525.

17. Zhou E., Lee D. Generative artificial intelligence, human creativity, and art // PNAS Nexus. – 2024. – Vol. 3. № 3.
18. Wang H. et al. Can AI be as creative as humans? arXiv. – 2024.
19. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – № 8 (3). – P. 338–353.
20. Амиров, Р. А. Перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта в сфере высшего образования / Р. А. Амиров, У. М. Билалова // Управленческое консультирование. – 2020. – № 3. – С. 80–88.

УДК 745.03

ЭТНОКУЛЬТУРНЫЙ КОД В СОВРЕМЕННОМ КОСТЮМЕ: ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ФОРМ К ИННОВАЦИОННЫМ ДИЗАЙН-РЕШЕНИЯМ

Рыбасова Ю.Ю., к.пед.н., доцент кафедры «Гуманитарные науки и дизайн»;
Салахов Р.Ф., к.пед.н., доцент, декан факультета «Социальные коммуникации и дизайн»;
Салахова Р.И., к.пед.н., доцент, заведующий кафедрой «Гуманитарные науки и дизайн» ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

ETHNOCULTURAL CODE IN MODERN COSTUME: FROM TRADITIONAL FORMS TO INNOVATIVE DESIGN SOLUTIONS

Rybasova Yu.Yu., PhD in Pedagogy, Associate Professor of the Department of Humanities and Design;
Salakhov R.F., PhD in Pedagogy, Associate Professor, Dean of the Faculty of Social Communications and Design;
Salakhova R.I., PhD in Pedagogy, Associate Professor, Head of the Department of Humanities and Design, the Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

Современный дизайн костюмов все чаще обращается к национальному культурному коду как к источнику вдохновения и средству смысловой выразительности. В статье дается анализ способов адаптации элементов традиционных форм тюркских народов Поволжья, в частности казанских татар (орнаментики, кроя, цветовой символики) в актуальных fachion-коллекциях с использованием инновационных технологий – лазерной гравировки, цифровой печати и 3D-вышивки.

Ключевые слова: этнокультурный код, современный костюм, тюркские народы Поволжья, орнаментика, fachion-festival

Abstract

Modern costume design is increasingly turning to the national cultural code as a source of inspiration and a means of semantic expressiveness. The article provides an analysis of ways to adapt elements of traditional forms of the Turkic peoples of the Volga region, in particular the Kazan Tatars (ornamentation, cutting techniques, color symbols) in current fashion collections using innovative technologies – laser engraving, digital printing and 3D embroidery.

Keywords: ethnocultural code, modern costume, Turkic peoples of the Volga region, ornamentation, fashion-festival

Введение

В рамках изученного научно-исследовательского материала этнокультурный код трактуется как комплекс семиотических элементов, включающих орнаментальные узоры, силуэтные формы и специфические материалы, призванные передавать национальную самобыт-

ность. Дискуссии, проводимые в современной высокой моде, свидетельствуют о том, что наследие традиций народной культуры – это значимый механизм в уникальной системе ценностей, представлений, образов и моделей, которые обеспечивают интеграцию исторического опыта с современными стилистическим векторам дизайнерских решений создания нового продукта (костюма).

Цель нашего исследования – предложить инновационные дизайн-решения при сохранении традиционных форм в современном костюме с национальным этнокультурным кодом.

Проанализированный опыт показывает, что костюм и его традиционные формы отчасти утратили традиционность и нарядность, превратили его в музейный экспонат, что привело к разрыву в передаче наследия и нарушило диалектику этнокультурного кода. В связи с чем встал вопрос, актуальность которого заключается в выявлении и адаптации культурного кода, его ключевых элементов для их внедрения в современный костюм с инновационными подходами дизайнерского решения [8].

Создавая современный костюм на основе орнаментов народных мотивов, дизайнеру необходимо понимать и осознавать структуру и суть гардероба национальных особенностей этноса и его культурного кода.

Материалы и методы

При написании статьи мы использовали материалы публикаций в научных журналах, диссертационные и монографические исследования по изучаемому вопросу. Изучение идей современных ученых-практиков и дизайнеров в рамках ознакомления символики, орнамента, цветовой гаммы в расшифровке этнокультурного кода – семиотический анализ, цифровое моделирование 3D-дизайн и метод эксперимента в работе с традиционными орнаментами и фактурами.

Основная часть

В современном мире уже не наблюдается единого доминирующего направления в моде. Разнообразие стилей и моделей костюма создается множеством известных брендов и сотнями менее известных модных домов. Существенные изменения затронули как гардероб человека, так и всю текстильную отрасль. Костюм играет ключевую роль в процессе взаимодействия человека с окружающим его миром. Трансформации коснулись не только традиционные формы геометрии кроя, структуры материала и его фактуры, но и визуальной эстетики графического оформления тканей – узоров, паттернов и орнаментов. Цветовая гамма и декоративное оформление существенно повлияли на восприятие этнокультурного кода и определили степень его современности и актуальности. Благодаря творческо-креативному представлению традиционно-классические мотивы подверглись новым решениям современных дизайнеров [4].

Сформировать новое видение позволяет комплексный предметно-исторический подход, включающий изучение эволюции костюма, художественной культуры и быта. Особое внимание уделяется национально-региональным особенностям. Ключевыми моментами для новых идей и дизайнерских решений этнокультурного кода в современном костюме стали практические наработки – это изучение архивных материалов с ретроспективным разбором исторических образцов, что позволяет детально исследовать крой, фактуру, орнаментику, декор и технологию пошива для конструирования современного костюма [2].

Дизайнеры, изучая, вдохновляясь, исследуя традиционные формы костюма, используют свои авторские идеи как в единичных изделиях, так и в полноценных коллекциях. Традиционный народный костюм, подобный иным артефактам материальной и духовной культуры, насыщен специальной символикой и несет в себе смысловой заряд. В связи с этим его целесообразно рассматривать как сложный этнокультурный код, так как он выступает своеобразным информационным хранилищем, который создает новую среду для воспроизведения инновационных дизайнерских решений в современном костюме [9].

Мы бы хотели предложить наше авторское определение этнокультурному коду в современном костюме как инновационному подходу дизайнерского решения. Этнокультурный

код в контексте дизайна современного костюма рассматривается нами как креативно-фундаментальный стимул для обновления инновационных подходов. Он выступает источником вдохновения и инструментом смысловой выразительности, позволяющим гармонично интегрировать и адаптировать орнаменты, символику и конструктивные элементы с применением передовых инженерно-творческих технологий. Этот процесс способствует передаче последующим поколениям ценных знаний и навыков, что удовлетворяет потребность в духовном развитии и стимулирует художественно-креативный подход к созданию новых видов костюмированной продукции.

Сегодня каждый человек желает вписать в свой повседневный гардероб элементы народного, национального и традиционного стиля. Это придает образу большую целостность, подчеркивает его самобытность и делает более родным и близким [6].

Культурное наследие народа представляет собой совокупность устоявшихся традиций и обычаев. Через призму культурного кода осуществляется обмен ценностями, а само это явление выступает индикатором, позволяющим идентифицировать принадлежность индивида к конкретной культуре [1].

Культурная палитра Поволжского региона на протяжении многих веков формировала его самобытность. Творческое наследие народов Татарстана представляет собой сложный сплав традиций исламской цивилизации, западного Возрождения и иных культурных течений. Такое многогранное историко-культурное пространство открывает широкий спектр для инноваций в сфере моды. Синергия передовых технологических решений с аутентичными материалами и национальными орнаментами служит надёжным фундаментом для создания авторских дизайнерских концепций.

В Поволжском регионе татары представляют собой самую многочисленную этническую группу. Среди них было очень распространено занятие ремеслами и промыслами, которые были направлены на производство одежды, в частности и костюма. Костюм представляет собой культурный феномен, неразрывно связанный с духовными, эстетическими и социальными аспектами общества. С древних времен одежда выполняла не только защитную функцию от неблагоприятных погодных условий, но и служила украшением, а также инструментом воплощения этического идеала.

Татарский национальный костюм вобрал в себя всю полноту народного мастерства и неустанного стремления к совершенству. Через костюмированную одежду можно прочитать индивидуальные черты ее владельца, его характер и эстетические предпочтения. Также можно легко определить возраст и социальный статус человека. Национально-традиционный костюм служит самым выразительным маркером этнической принадлежности и культурным кодом [10].

Как наглядный пример можно рассмотреть проект магистрантки Казанского государственного института культуры К.Р. Валиевой, разработавшей ансамбль женского костюма с элементами национального культурного кода. Предложенный образец женского национального костюма органично объединил в себе традиционный элемент татарской одежды и современные дизайнерские решения. Брючный ансамбль, включающий свободную блузу прямого силуэта без застежек и прямые брюки. Длинные рукава блузы украшены ручной вышивкой из узорчатых тканных полотен, произведенных на Алексеевской фабрике художественного ткачества. Материал брючного костюма – стопроцентный лен бежевого оттенка. Брюки также имеют прямой крой, изготовлены из того же льна бежевого цвета, автор предлагает дополнить костюм облегченной блузкой цвета бордо с длинными рукавами, произведенной и сшитой из хлопково-полиэстеровой смеси. В качестве культурного кода татарского этноса подобраны высокие сапоги насыщенного синего цвета, оснащенные высоким каблуком и острым носом [7].

Студенты факультета «Социальные коммуникации и дизайна» Казанского государственного института культуры во главе с заведующей кафедры «Гуманитарных наук и дизайна» Салаховой Радой Инсафовной приняли участие в V Международном фестивале ди-

зайнеров «AQJAYIQ FASHION FESTIVAL», который прошел в городе Уральске (Казахстан), где предложили инновационные дизайнерские решения, сохраняющие этнокультурный код и традиционные формы в современном костюме.

В раках модного дефиле магистры продемонстрировали две авторские работы. Первая – проект «Кочевник» от Ферузы Ныязбековой. Данная линия одежды для мужчин предлагает актуальное прочтение традиций тюркских кочевых цивилизаций, делая ставку на удобство и свободу самовыражения. Благодаря свободному крою, использованию природных тканей и сложным многослойным текстурам создаются деловой облик современного мужчины, гармонично объединяющего в себе романтику путешествий, динамику мегаполиса и воспоминания о традициях своих великих предках.

«Йол» – это линия женской костюмированной одежды, разработанная Аленой Овчинниковой. Образы fachion-коллекции раскрывают собственную, неповторимую историю: они свободны и колоритны, напоминая лунное сияние в безмятежную ночь. Украшения на костюмах выполнены посредством уникальной техники вышивки шнуром по индивидуальным чертежам, где природные мотивы гармонично сочетаются с этническими элементами народов Поволжья, раскрывая богатый культурный код региона.

Процесс создания и реализации дизайнерских проектов предложил ряд последовательных шагов:

– разработка эскизов моделей;
– подбор оптимальных материалов;
– проектирование конструкций базовых элементов коллекции;
– определение технологических процессов с учетом характеристик материалов по их структуре и назначению;
– изготовление изделий из выбранных материалов;
– презентация готового проекта;
– реализация коммерческого потенциала проекта [3].

V сезон «AQJAYIQ FASHION FESTIVAL» стал очередной площадкой, где встретились традиция и современность. Сыграл ключевую роль в укреплении культурных связей и развитии дружеских отношений между Россией, Казахстана и стран СНГ. Фестиваль высокой моды доказал, что модернизация этнокультурного кода по-прежнему востребовано. В современных костюмах органично переплелись традиционно-классические силуэты с оригинальными авторско-дизайнерскими решениями.

Заключение

Модные тренды цикличны, поскольку одежда выступает в роли знаково-семиотической системы и является хранительницей этнокультурного кода. Являясь знаком коммуникативно-потребительского сегмента товаров fachion-индустрий современный дизайнер обращается к образцам традиционных, национальных форм, архивным вещем и аксессуарам, чтобы переосмыслить эстетическую ценность прошлого и придать современную костюму новый нарратив, сохранив преемственность [5].

Сегодня дизайнеры не ограничиваются строгими модными рамками, а опираются на свое авторское видение и подчерк. Важным аспектом устойчивого развития модной индустрии становится инновационное переосмысление дизайнерских решений традиционных форм современного костюма.

Проектные работы и их исследования являются важной составляющей в дизайн-решениях. Они представляют устойчивый интерес в контексте поиска инноваций этнокультурного кода и путей адаптации к устойчивой моде. Отказ от устоявшейся иерархической парадигмы конструирования современного костюма дает возможность заново осмыслить визуальную составляющую культурно-базового элемента гардероба, а также максимально полно раскрыть и сохранить первоначальные черты этнокультурного кода с помощью эмоционального и духовного наследия.

Список литературы

1. Батыршин, Р. И. К вопросу о понятии культурного кода наций: лингвистические и культурологические подходы / Р. И. Батыршин // Вестник культуры и искусств. – 2024. – № 1 (77). – С. 46-54.
2. Захарчук, Н. С. Кросс-дисциплинарный подход к проектированию одежды в системе «Авторская коллекция» / Н. С. Захарчук, Л. В. Попковская // Материалы и технологии. – 2024. – № 2 (14). – С. 68-80.
3. Захарчук, Н. С. О методах формирования устойчивой моды / Н. С. Захарчук, Л. В. Попковская // Материалы и технологии. – 2023. – № 1 (11). – С. 54-49.
4. Мартиросов, А. В. Этнодизайн и формирование визуально-графического образования в принт-дизайне / А. В. Мартиросов, М. С. Кучеренко //Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 4-9 (72). – С. 70-79.
5. Попковская, Л. В. Разработка имиджевой коллекции с элементами направления «sustainable fashion» / Л. В. Попковская, Н. С. Захарчук // Материалы докладов 56-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов : в 2 Т., Витебск, 19 апреля 2023 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2023. – С. 86–89.
6. Рахимкулова, С. А. Особенности проектирования современной одежды с использованием декоративных элементов на основе украшений национального костюма / С. А. Рахимкулова, У. С. Рахматуллаева, С. Ш. Ташпулатов // Universum: технические науки. – 2023. – № 8 (113). – С. 65-69.
7. Салахов, Р. Ф. Татарский женский костюм как аналог в проектировании современной женской одежды / Р. Ф. Салахов, Р. И. Салахова, К. Р. Валиева // Вестник КАЗГУКИ. – 2023. – № 3. – С. 23-27.
8. Фатеев, Д. А. Особенности использования культурного кода поселения Эушта в современном национальном костюме / Д. А. Фатеев, Е. И. Григорьева // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. – 2025. – №4 (126). – С. 128–136.
9. URL: https://rguk.ru/upload/iblock/000-aspirantura/defence archive/ NeoronovaAP (дата обращения: 25.06. 2026).
10. URL: https://f.tatngpi.ru/ virtual/istoriya_tatarskogo_kostyuma.pdf (дата обращения: 25.06. 2026).

УДК 02 : 37.091.3 : 004.023

ИНТЕРАКТИВНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИБЛИОТЕЧНО-ИНФОРМАЦИОННОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ДЕТЕЙ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И РЕАЛИИ ПРАКТИКИ

Савич Л.Е., д.пед.н., профессор кафедры библиотечно-информационных и цифровых;
Сафин Т.Ю., выпускник бакалавриата «Библиотечно-информационная деятельность» ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

INTERACTIVE DIGITAL TECHNOLOGIES IN LIBRARY AND INFORMATION SERVICES FOR CHILDREN: THEORETICAL ASPECTS AND PRACTICAL REALITIES

Savich L.E., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Library, Information and Digital;
Safin T.Yu., Bachelor's graduate in «Library and Information Activities», Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

Результаты исследований в области библиотековедения, педагогики, психологии, социологии, др. представляют междисциплинарные доказательства того, что для всестороннего формирования личности ребенка сегодня недостаточны лишь интеллектуальное развитие и информационное насыщение потребностей. Библиотеки, формально не будучи образовательными учреждениями, выполняют просветительскую миссию: через чтение приобщают к информации, а через неё – к культурным и духовным ценностям. Интерактивные цифровые технологии являются важным ресурсом развития детских библиотек, а их профессионально осознанное внедрение способствует не только привлечению ребёнка к книге, но и формированию навыков самостоятельного, безопасного и осознанного взаимодействия с информационной средой.

Ключевые слова: интерактивные цифровые технологии, привлечение к чтению, детские библиотеки, библиотечно-информационное обслуживание детей

Abstract

The results of research in the fields of librarianship, pedagogy, psychology, sociology, and others provide interdisciplinary evidence that today, for the comprehensive development of a child's personality, only intellectual development and the satisfaction of information needs are insufficient. Libraries, although not formally educational institutions, carry out an educational mission: through reading, they introduce people to information, and through it – to cultural and spiritual values. Interactive digital technologies are an important resource for the development of children's libraries, and their professionally conscious implementation contributes not only to attracting children to books but also to the development of skills for independent, safe, and conscious interaction with the information environment.

Keywords: interactive digital technologies, encouraging reading, children's libraries, library and information services for children

Введение

Социально-экономические трансформации, включая цифровизацию всех сфер жизнедеятельности, радикально изменили ценностные ориентиры в образовании и культуре. Если ранее ведущей целью образования и библиотечно-информационной деятельности являлся объём усвоенных знаний и доступ к традиционным носителям информации, то сегодня приоритет сместился в сторону гармоничного разностороннего развития личности ребёнка. Для достижения истинной гармонии необходимо равновесное развитие духовных, нравственных, эстетических, правовых, экологических и физических качеств, воспитание патриотизма, толерантности и интереса к национальной культуре, включая билингвальный контекст таких регионов, как Татарстан.

Это подразумевает не только интеллектуальное обогащение, но и подготовку к жизни в цифровую эпоху, психологическую устойчивость, социальную адаптацию, формирование критического мышления, медиаграмотности и других навыков XXI века. В этих условиях библиотеки сталкиваются с вызовом: как привлечь «нечитающее поколение» к книге, не проиграв в конкуренции с соцсетями и гаджетами.

На протяжении веков книга оставалась универсальным средством воспитания, а библиотека – её хранилищем и проводником. Библиотеки, в том числе детские, формально не являясь образовательными учреждениями, традиционно выполняли и выполняют просветительскую миссию: через чтение приобщают к культурным и духовным ценностям. Культурно-просветительская деятельность детских библиотек охватывает расширение кругозора, профилактику правонарушений, популяризацию здорового образа жизни и поддержку детского творчества.

Цифровизация культуры и образования радикально изменила роль детских библиотек, сместив акцент с хранения фондов на проектирование насыщенной мультимедийной среды и цифровых сервисов для ребёнка и семьи: «современная детская библиотека рассматривается как медиакультурный центр, где традиционные формы работы (чтение, выставки, клубы) интегрируются с виртуальными ресурсами, онлайн-мероприятиями и интерактивными платформами» [1]. То есть в современном мире детские библиотеки эволюционировали в многофункциональные центры, обладающие уникальными возможностями для эстетического, интеллектуального и социального совершенствования ребёнка. Чтение, особенно интегрированное с интерактивными форматами, становится одним из самых привлекательных занятий для детей младшего и старшего школьного возраста (7–14 лет).

Современное библиотечно-информационное обслуживание детей (БИО) – это предоставление доступа к информационным ресурсам, способствующее социализации, интеллектуальному росту и культурному развитию ребенка, включающее не только выдачу книг, но и формирование навыков информационной грамотности, эстетического вкуса и критического мышления [2].

В процессе взаимодействия с библиотечными ресурсами – от электронных каталогов до виртуальных выставок и подкастов – у ребёнка формируется эстетический вкус, чувство прекрасного, происходит практическое приобщение к миру искусства и культуры. Это взаимодействие связывает абстрактные знания с реальной жизнью, способствуя социализации. Сценические образы литературы, оживающие в буктрейлерах, VR-экскурсиях или геймифицированных квестах, дают яркие примеры для подражания, помогают формировать ориентиры поведения, развивать характер и мировоззрение. Особую роль играют региональные особенности: в Татарстане библиотеки продвигают билингвальный (русско-татарский) контент, укрепляя культурную идентичность и патриотизм.

Интерактивные цифровые технологии выступают мощным средством воспитания подрастающего поколения. Они вбирают многовековой культурный опыт, проявляя особенности цифровых ритуалов общения, эталоны сетевой культуры, манеры поведения онлайн и модели трудовой деятельности в виртуальной реальности. Осваивая AR/VR-экскурсии, геймифицированные платформы, чат-боты, мобильные приложения и интерактивные киоски, дети приобщаются к нравственным и духовным ценностям поколений. Отсутствие физических барьеров и игровых элементов привлекает детей, делая библиотеку конкурентоспособной с интернет-видеоплатформами и социальными сетями.

Практическая значимость внедрения интерактивных цифровых технологий в библиотечно-информационное обслуживание детей, а также стратегии «5С» для библиотек и в рамках нацпроектов [3; 4] заключается в комплексном подходе к повышению эффективности работы учреждений и доступности услуг, снижению ресурсных затрат и реализации стратегических целей развития. Эта стратегия может стать инструментом для достижения ряда показателей, таких как рост посещаемости, профилактика зависимости от ресурсов, а также возможность участия в грантовых программах.

Материалы и методы

Результаты терминологического анализа, предпринятого в рамках данного исследования, позволяют утверждать, что под интерактивными цифровыми технологиями в библиотечно-информационном обслуживании детей целесообразно понимать совокупность программных и аппаратных решений, обеспечивающих двустороннее взаимодействие ребёнка с информационными ресурсами библиотеки в цифровой среде (онлайн и офлайн) и позволяющих адаптировать контент, формат и сложность взаимодействия к индивидуальным особенностям пользователя.

Анализ работы детских библиотек (С.В. Савкина и Ю.В. Жегульская (2019), М.А. Киселева (2022), Т.Е. Савицкая (2019), др.) позволил установить:

– на практике под интерактивными цифровыми технологиями понимаются инструменты, сочетающие цифровые платформы с элементами взаимодействия, такие как дополненная реальность (AR) или виртуальная реальность (VR), геймификация и мобильные приложения, для повышения вовлеченности пользователей» – то есть гибридные формы работы;

– интерактивные технологии, применяемые в библиотечной работе с детьми, логично кластеризируются (например, мультимедийные и веб-технологии, объединяя электронные каталоги с визуальными рекомендациями, буктрейлеры, видеорецензии, блоги и социальные сети библиотек, виртуальные выставки и онлайн-коллекции, становятся значимым инструментом привлечения детей к чтению, позволяя соединять визуальный и текстовый каналы восприятия»);

– технологии дополненной и виртуальной реальности (AR/VR) позволяют создавать и проводить интерактивные экскурсии по «миру книги», «оживающие» иллюстрации, AR-квесты по библиотечному пространству и виртуальные читательские путешествия Т.Е. Савицкая. подчеркивает, что «AR-экскурсии и квесты повышают концентрацию внимания, стимулируют наблюдательность и создают эффект присутствия в художественном или познавательном мире книги» [5];

– геймифицированные сервисы представляют собой цифровые квесты по каталогу, читательские «маршруты», системы накопления баллов и достижений за чтение и участие в мероприятиях, «превращая поиск книг в игру, что снижает стресс и повышает концентрацию» [6];

– дистанционное и виртуальное библиотечное обслуживание включает онлайн-запись на мероприятия, удалённую выдачу электронных книг, онлайн-консультации и работу с чат-ботами. По мнению А.Г. Евстигнеевой, «веб-технологии позволяют библиотекам выходить за пределы физического пространства и обслуживать пользователей удаленно, что особенно важно для детей, ограниченных в возможностях передвижения» [7];

– интерактивные инсталляции и киоски – это сенсорные панели, мультимедийные стенды, интерактивные «карты чтения», позволяющие ребёнку самостоятельно выбирать траекторию изучения материалов. Н.А. Кашина подчеркивает, что «мультимедийные киоски и интерактивные панели создают для ребенка возможность самостоятельного исследования, что соответствует принципам развивающего обучения» [8].

С развитием интерактивных технологий в научный оборот вошло понятие «цифровое чтение». Цифровое чтение – это мультимодальная практика взаимодействия с текстом в цифровой среде, сочетающая традиционное чтение с просмотром визуального контента, прослушиванием аудиоматериалов, выполнением интерактивных заданий и участием в сетевых коммуникациях по поводу прочитанного [9], «цифровое чтение носит мультимодальный характер, соединяя текст, изображение, звук и интерактив, и обеспечивает более устойчивую мотивацию к книге за счёт разнообразия каналов восприятия и активной позиции ребёнка» [1]. В данном контексте считаем корректным определение мультимодальности (от лат. multum – много и modus – способ) как свойства коммуникации, использующей одновременно несколько каналов передачи информации (текст, изображение, звук, движение), что обеспечивает более глубокое и разностороннее восприятие сообщения [10].

Заведующая Центром по исследованию проблем развития библиотек в информационном обществе Российской государственной библиотеки И.П. Тикунова вводит понятие «5С-цифровизация» применительно к библиотечной деятельности. Как отмечается в современных исследованиях по оптимизации рабочих процессов, «методология 5С (Sorting, Straightening, Shining, Standardizing, Sustaining) возникла в японской производственной культуре и была адаптирована для различных сфер деятельности» [10].

В контексте цифровизации детских библиотек под «5С-цифровизацией» предлагается понимать пять взаимосвязанных направлений развития: Сортировка (Sorting) – отбор

и структурирование цифровых ресурсов для детей, Систематизация (Systematization) – организация цифрового пространства библиотеки, Содержание (Content) – создание и адаптация билингвального контента, Стандартизация (Standardization) – унификация подходов к внедрению технологий, Самодисциплина (Self-discipline) – формирование цифровых компетенций библиотекарей.

И.П. Тикунова утверждает, что «стратегия «5С-цифровизации» позволяет оптимизировать пространство и процессы через компьютерные технологии, включая сканирование AR, сетевые квесты, билингвальный контент, контроль вовлеченности и самообучение персонала» [11], что уже находит подтверждение в практике детских библиотек. Для детских библиотек важным становится переход от парадигмы «книга как цель» к парадигме «книга как часть сложного медиакомплекса детства», где печатные и электронные тексты сосуществуют с играми, мультфильмами, подкастами и социальными сетями. В этом контексте книга выступает ядром смыслов, а интерактивные цифровые технологии – средствами их актуализации в привычной для ребёнка цифровой форме [12].

Сбор эмпирического материала проводился в детских библиотеках г. Казани в несколько этапов с использованием комплекса взаимодополняющих методов. На первом этапе был организован эксперимент, направленный на проверку гипотетического предположения о положительном влиянии интерактивных цифровых технологий на мотивацию детей к чтению и посещению библиотеки.

Нами была опрошена контрольная группа из 110 детей. На начальном этапе исследования был выявлен низкий уровень вовлеченности: из 110 человек потенциальной аудитории читателями /пользователями библиотеки являлись всего 24 человека (22%).

Для решения этой проблемы был проведён эксперимент. В рамках культурно-развлекательного мероприятия мы познакомили детей с приключенческим романом В. Каверина «Два капитана», применив при этом интерактивные цифровые технологии, а именно: QR-коды, ведущие на буктрейлер книги, QR-коды, ведущие на экранизацию романа, а также применили технологии дополненной реальности (оживление иллюстраций).

Применение интерактивных технологий дало измеримый результат. За период апробации в библиотеку записались ещё 39 человек. Таким образом, общее число читателей достигло 63 человек, что составляет 57% от всей аудитории.

Эксперимент показал, что интерактивные цифровые технологии являются не просто дополнением, а обязательным условием привлечения современных детей в библиотечное пространство, и подтверждает гипотезу о положительном влиянии интерактивных цифровых технологий на посещаемость библиотек среди детской аудитории. Интерактивные цифровые технологии сделали библиотеку «видимой» в цифровой среде, где привыкли находиться дети.

Для решения второй задачи исследования – анализа особенностей применения интерактивных цифровых технологий (AR/VR, геймификация, мультимедийные сервисы) в практике детских библиотек – был проведен контент-анализ официальных сообществ в социальной сети «ВКонтакте» и открытых цифровых ресурсов детских библиотек г. Казани.

Оказалось, что библиотеки – в разной степени – используют гибридный (phygital) формат, сочетающий физическое пространство и цифровые инструменты для подготовки и проведения тематических квизов и викторин (наиболее популярны), QR-квестов по библиотеке, виртуальных экскурсий, геймификацию и мультимедийные форматы, создают интерактивные закладки, онлайн-тесты для подбора книг (крайне редко), тематические подборки в соцсетях, «оживающие» обложки (AR).

Стратегия «5С-цифровизации» не реализована в полном объеме ни в одной из библиотек. Наиболее близка к этому Республиканская детская библиотека им. Р. Миннуллина, но требует доработки по систематизации и стандартизации.

Потенциал для развития (на основе стратегии «5С»):

1. Содержание: создание системного билингвального AR/VR-контента о татарской литературе, истории и культуре.

2. Среда: организация постоянных QR-маршрутов по залам библиотек для самостоятельного прохождения.

3. Сообщество: внедрение чат-ботов и мобильных приложений для учета прочитанного и рекомендаций книг.

4. Сотрудничество: обмен успешными практиками между библиотеками (например, опыт QR-квестов библиотеки №45 может быть масштабирован).

5. Саморегуляция: повышение цифровых компетенций библиотекарей для самостоятельного создания AR-контента с использованием WebAR-конструкторов (не требующих программирования).

Таблица 1

Реализация стратегии «5С-цифровизации»

Компонент «5С»	**Степень реализации в анализируемых библиотеках**
Сортировка	Частично реализована через тематические подборки и виртуальные выставки
Систематизация	Не реализована (отсутствуют единые цифровые навигационные системы по залам)
Содержание	Частично реализована (есть билингвальные квизы, но нет системного билингвального AR-контента)
Стандартизация	Не реализована (каждая библиотека использует свои форматы и инструменты)
Самодисциплина	Частично реализована (библиотекари обучаются работе с AR-книгами и квиз-платформами)

Основная часть

Результаты анализа выявили системные проблемы в области внедрения интерактивных цифровых технологий:

– отсутствие постоянно действующих QR-квестов во всех анализируемых библиотеках;

– недостаточное число онлайн-тестов для подбора литературы с учетом возрастных и жанровых предпочтений детей, что могло бы в значительной степени содействовать удовлетворению и развитию информационных потребностей и интересов детей, привлечению их в библиотеки;

– отсутствие адресных виртуальных 3D-экскурсий для детей по библиотекам;

– недостаток собственного AR-контента, адаптированного под детскую аудиторию.

При этом, согласно многочисленным исследованиям, 88% детей 7–10 лет в России имеют смартфоны, что создает благоприятную среду для внедрения гибридного метода «смартфон – библиотека». Кроме того, выявленный недостаток исследований и практических решений по интеграции AR/VR и геймификации для детей 7–14 лет в билингвальных регионах – требует разработки конкретных, воспроизводимых форматов, учитывающих возрастные особенности и предпочтения целевой аудитории.

При внедрении интерактивных цифровых технологий в библиотечно-информационное обслуживание детей надо учитывать психологические особенности различных возрастных групп для обеспечения эффективного взаимодействия, повышения интереса к обучению, развития навыков и создания комфортной среды для развития личности. Характеристика возрастных групп отображена в таблице.

Возрастная группа	Психологические особенности	Предпочтения в интерактиве	Рекомендуемые технологии
7–10 лет (младший школьный возраст)	Наглядно-образное мышление, высокая игровая мотивация, потребность в поощрении, короткая концентрация внимания (10–15 минут)	Яркие визуальные образы, сказочные сюжеты, наклейки и закладки как призы, простые задания с немедленной обратной связью	QR-квест с персонажем-проводником, AR-оживление сказочных героев, онлайн-тест с картинками
11–14 лет (подростковый возраст)	Развитие абстрактного мышления, интерес к логическим задачам, социальное взаимодействие, соревновательность, потребность в самостоятельности	Командные соревнования, квесты с шифрами и ребусами, рейтинги и достижения, интеграция с соцсетями, возможность самовыражения	Командные квизы с подсчетом баллов, AR-квесты с поиском по библиотеке, тесты для подбора книг по интересам, создание собственных AR-открыток

Анализ мероприятий показал, что наиболее востребованными форматами у детей 7–14 лет являются:

1. Квизы и викторины с элементами соревнования – командные игры формата «Своя игра», «Где логика?», «Литературная интуиция» (библиотеки №39, №42, №45 г. Казани).

2. Квесты с поиском подсказок – дети активно вовлекаются, когда нужно найти спрятанный предмет или разгадать шифр (библиотеки № 42, № 45, РДБ им. Р. Миннуллина).

3. Визуальный и аудиоконтент – буктрейлеры, видеообзоры, подкасты с рекомендациями книг (все библиотеки).

4. AR/4D-книги – дети с интересом изучают «оживающие» энциклопедии про космос, динозавров, анатомию (все библиотеки с AR-фондом).

Именно эти предпочтения легли в основу разработки предлагаемой стратегии внедрения интерактивных цифровых технологий в практику библиотечно-информационного обслуживания детей, включающая четыре взаимосвязанных продукта:

1. Постоянно действующий QR-квест «Хранители книжного фонда» – 5 станций, 20–30 минут прохождения, целевая аудитория 7–12 лет. Реализуется через Яндекс Формы.

2. Онлайн-тест для подбора книг «Книжный навигатор» – разветвленный тест на платформе Online Test Pad, целевая аудитория 10–14 лет. Учитывает возрастные предпочтения и выдает персонализированные рекомендации с обложкой и аннотацией.

3. Виртуальная 3D-экскурсия по библиотеке – создается через съемку 360-панорам смартфоном и сборку тура на платформе Kuula.co. Позволяет удаленно знакомиться с пространством библиотеки.

4. Собственный AR-контент – создается в WebAR-конструкторах (MyWebAR, EV Toolbox) без навыков программирования. Форматы: «оживающие» книжные выставки, интерактивная навигация, AR-элементы квестов, краеведческие стенды.

Ключевые особенности разработанной стратегии:

1. Учет возрастных особенностей детей 7–14 лет (наглядно-образное мышление младших школьников, абстрактное мышление и соревновательность подростков).

2. Использование только бесплатных и доступных инструментов, не требующих специального оборудования.

3. Интеграция всех продуктов в единую систему: ссылки в тесте на экскурсию, AR-элемент в квесте, мотивационные сувениры.

4. Простота воспроизведения: пошаговые инструкции позволяют библиотекарям самостоятельно внедрить предложенные технологии.

5. Возможность масштабирования: после пилотного внедрения в одной библиотеке стратегия может быть тиражирована на другие филиалы ЦБС г. Казани и Республики Татарстан.

Ожидаемые эффекты от внедрения:

1. Рост вовлеченности детей в библиотечную активность на 40–60% за счет игровых механик и иммерсивности.

2. Увеличение времени пребывания ребенка в библиотеке на 20–30 минут (за счет прохождения квеста).

3. Повышение узнаваемости библиотеки через онлайн-тест и виртуальную экскурсию.

4. Формирование положительного имиджа библиотеки как современного медиакультурного центра.

Разработанная стратегия полностью соответствует теоретическим положениям стратегии «5С-цифровизации», гибридному методу «смартфон – библиотека», учитывает билингвальную специфику Татарстана, проблемы и потенциал библиотек г. Казани

Выводы

Детская библиотека в современных условиях трансформируется из традиционного книгохранилища в медиакультурный центр, где печатные, электронные и интерактивные формы работы дополняют друг друга. Идеи Дж. Дьюи, М. Монтессори, А.В. Луначарского и М. Кастельса остаются актуальными и в цифровую эпоху, поскольку позволяют рассматривать библиотеку как пространство активного познания, самостоятельного выбора и сетевого взаимодействия.

Подтверждено, что интерес детей к чтению можно существенно повысить за счёт использования интерактивных форматов, особенно если они интегрируются с личными смартфонами пользователей.

Разработанная стратегия интегрируется в модель «5С-цифровизации» и может быть использована как практическая основа для пилотного внедрения и последующего масштабирования в библиотеках Казани и Республики Татарстан.

Таким образом, гипотеза исследования подтвердилась: использование интерактивных цифровых технологий, в том числе в связке со смартфонами детей, действительно способствует повышению интереса к чтению, росту библиотечной активности и формированию положительного образа современной библиотеки как пространства знаний, общения и цифрового творчества. Интерактивные цифровые технологии являются важным ресурсом развития детских библиотек, а их внедрение способствует не только привлечению ребёнка к книге, но и формированию навыков самостоятельного, безопасного и осознанного взаимодействия с информационной средой.

Список литературы

1. Савкина, С. В. Мультимедийные продукты библиотек как средства привлечения детей к чтению / С. В. Савкина, Ю. В. Жегульская // Библиотековедение. – 2019. – Т. 68, № 4. – С. 363–373.

2. Руководство по библиотечному обслуживанию детей в России: рекомендации органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации, местному самоуправлению, специализированным детским библиотекам, общедоступным библиотекам, обслуживающим детей / Министерство культуры Российской Федерации, Российская государственная детская библиотека; научно-методический отдел. – Москва : РГДБ, 2019. – 35 с.

3. Нацпроект России «Культура» // Национальныепроекты.рф. – 2024. – URL: https://национальныепроекты.рф/projects/kultura/ (дата обращения: 07.05.2026).

4. Письмо о направлении методических рекомендаций // Министерство просвещения Российской Федерации. – Декабрь 2019. – URL: https://docs.edu.gov.ru/document/a26cbb6b3caeaf86b574c1d0e082aa7d/download/5440/ (дата обращения: 10.05.2026).

5. Савицкая, Т. Е. Технология дополненной реальности в библиотечной практике / Т. Е. Савицкая // Библиотековедение. – 2019. – Т. 68, № 3. – С. 249–257.

6. Киселева, М. А. Цифровизация и другие современные тенденции в области развития игровых технологий в культурно-просветительской деятельности детских библиотек / М. А. Киселева // Культура и технологии. – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 131–137.

7. Евстигнеева, А. Г. Современные тенденции применения веб-технологий в библиотеках / А. Г. Евстигнеева // Научные и технические библиотеки. – 2017. – № 4. – С. 22–33.

8. Кашина, Н. А. Мультимедиа и публичные лекции: вектор на развитие / Н. А. Кашина // Современная библиотека. – 2018. – № 4. – С. 22–24.

9. Гендина, Н. И. Пользовательско-ориентированный подход к формированию контента на официальных сайтах библиотек / Н. И. Гендина, Н. И. Колкова, Л. Н. Рябцева // Библиосфера. – 2022. – № 2. – С. 19–27.

10. Низамиева, Л. Р. Обучение мультимодальной коммуникации на иностранном языке специальности в высшей школе / Л. Р. Низамиева, Г. И. Назарова // Современные проблемы науки и образования. – 2023. – № 3. – С. 12 – 19.

11. Тикунова, И. П. Цифровизация как тренд библиотечного развития / И. П. Тикунова // Труды ГПНТБ СО РАН. – 2021. – № 3 (11). – С. 31–38.

12. Романичева, Е. С. Современные читательские практики: обзор основных исследований как попытка классификации / Е. С. Романичева, Г. В. Пранцова // Литература в школе. – 2022. – № 1. – С. 92–104.

УДК 902/904:004.9

ЦИФРОВАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ВЕЛИКОГО ШЁЛКОВОГО ПУТИ: ИНТЕГРАЦИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ПОВОЛЖЬЯ И СУРХАНДАРЬИ)

Сайфутдинова Г.М., к.т.н., заведующий отделом Института археологии им. А.Х. Халикова Академии наук Республики Татарстан; доцент кафедры геофизики и геоинформационных технологий Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1111-4946;
E-mail: saif_gm@mail.ru;
Воробьева Е.Е., к.и.н., доцент кафедры археологии и этнологии ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия; доцент кафедры археологии Термезского государственного университета, г. Термез, Республика Узбекистан;
ORCID: 0000-0002-5601-1804;
E-mail: veer47@mail.ru;
Ситдиков А.Г., д.и.н., профессор, действительный член (академик) Академии наук Республики Татарстан, директор Института археологии им. А.Х. Халикова Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-4563-2824;
E-mail: sitdikov_a@mail.ru;
Абдуллоев Ш.Б., доктор философии (PhD) по историческим наукам, декан Исторического факультета Термезского государственного университета, г. Термез, Республика Узбекистан;
ORCID: 0009-0003-0163-9746;
E-mail: abdulloyevshuxrat@gmail.com

DIGITAL RECONSTRUCTION OF THE GREAT SILK ROAD: INTEGRATION OF GLOBAL AND LOCAL RESEARCH (BASED ON ARCHAEOLOGICAL MONUMENTS IN THE VOLGA REGION AND SURKHANDARYA)

Sayfutdinova G.M., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of the Khalikov Institute of Archaeology of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Associate Professor of the Department of Geophysics and Geoinformation Technologies at the Institute of Geology and Oil and Gas Technologies of Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-1111-4946;
E-mail: saif_gm@mail.ru;
Vorobeva E.E., Candidate of Historical Sciences, Associate Professor of the Department of Archeology and Ethnology, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia; Associate Professor of the Department of Archeology, Termez State University, Termez, Republic of Uzbekistan;
ORCID: 0000-0002-5601-1804;
E-mail: veer47@mail.ru;
Sitdikov A.G., Doctor of Historical Sciences, Professor, Full Member (Academician) of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Director of the A.Kh. Khalikov Institute of Archaeology of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-4563-2824;
E-mail: sitdikov_a@mail.ru;
Abdulloev Sh.B., Doctor of Philosophy (PhD) in Historical Sciences, Dean of the Faculty of History, Termez State University, Termez, Uzbekistan;
ORCID: 0009-0003-0163-9746;
E-mail: abdulloyevshuxrat@gmail.com

Аннотация

На основе открытых картографических источников и археологических данных создана пространственная ГИС-модель, объединяющая глобальную сеть маршрутов Великого шелкового пути с локальными сегментами в Поволжье и Сурхандарьинской области Узбекистана. В отличие от предшествующих работ, в модели реализовано хронологическое разделение на три временных слоя: кушано-эллинистический (I–IV вв. н.э.), домонгольский (X–XIIIвв.) и золотоордынский (XIII–XIV вв.). Для Волжского торгового пути (от Астрахани до Казани) и караванного маршрута в Сурхандарье построены вероятностные коридоры с адаптивной буферизацией: 30 км для равнинных участков и 35 км для горных, с возможностью расширения в зависимости от рельефа и археологической изученности. В Поволжье отдельные сегменты подтверждены находками дальнего импорта – китайским селадоновым фарфором, бронзовыми ковшами из Нишапура и останками верблюда в Казанском Кремле, что свидетельствует о масштабной караванной торговле. Для Сурхандарьи оцифровано шесть ключевых памятников (Дальверзинтепа, Кампыртепа, Чинортепа, Фаязтепа, Каратепа, Зараутсай), включая объекты с кладами и буддийскими комплексами I–IV вв. Примененная трехуровневая шкала достоверности (3 – археологически подтвержденный импорт, 2 – косвенные данные, 1 – только картография) позволила категоризировать маршруты по степени обоснованности. Выявлены зоны концентрации археологических объектов в Нижнем Поволжье и Волго-Камье, что коррелирует с историческими данными о ключевых узлах трансконтинентальной торговли. Результаты носят предварительный характер и требуют верификации полевыми работами, однако созданная модель уже представляет собой унифицированную цифровую платформу для дальнейших трансграничных исследований и проектов по сохранению культурного наследия.

Ключевые слова: геоинформационные системы, археологическое наследие, буферные зоны, хронологические слои, торговые коридоры, пространственный анализ

Abstract

Based on open cartographic sources and archaeological data, a spatial GIS model has been created that combines the global network of the Great Silk Road routes with local segments in the Volga region and the Surkhandarya region of Uzbekistan. Unlike previous studies, the model implements a chronological division into three time layers: the Kushan-Hellenistic period (1st to 4th centuries AD), the pre-Mongol period (10th to 13th centuries), and the Golden Horde period (13th to 14th centuries). Probabilistic corridors with adaptive buffering have been constructed for the Volga trade route (from Astrakhan to Kazan) and the caravan route in Surkhandarya: 30 km for flat areas and 35 km for mountainous areas, with the possibility of expansion depending on the terrain and archaeological research. In the Volga region, individual segments have been confirmed by the discovery of distant imports, such as Chinese celadon porcelain, bronze ladles from Nishapur, and camel remains in the Kazan Kremlin, which indicates extensive caravan trade. Six key monuments (Dalverzintepa, Kampyrtepa, Chinortepa, Fayaztepa, Karatepa, and Zarautsai) have been digitized for Surkhandarya, including sites with hoards and Buddhist complexes from the 1st to 4th centuries. The three-level scale of reliability (3 – archaeologically confirmed imports, 2 – indirect data, and 1 – cartography only) has been used to categorize the routes based on their level of evidence. The areas of concentration of archaeological sites in the Lower Volga region and the Volga-Kama region have been identified, which correlates with historical data on key nodes of transcontinental trade. The results are preliminary and require verification through fieldwork, but the created model already represents a unified digital platform for further cross-border research and cultural heritage preservation projects.

Keywords: geoinformation systems, archaeological heritage, buffer zones, chronological layers, trade corridors, spatial analysis

Введение

Великий шёлковый путь представляет собой первую в истории человечества глобальную трансконтинентальную систему сухопутных и водных коммуникаций, связавшую древние цивилизации Восточной, Южной, Центральной и Западной Азии, а также Средиземноморья [3]. Магистраль являлась не просто торговой артерией, но и мощным каналом межкультурного взаимодействия: по ней распространялись технологии, научные идеи, религиозные учения и художественные традиции, что во многом определило облик известного нам мира. Актуальность цифровой реконструкции Великого шёлкового пути связана как с научными задачами (пространственно-временное моделирование трансконтинентальных связей), так и с практическими – мониторингом объектов историко-культурного наследия и обоснованием трансграничных объектов. Однако существующие картографические материалы часто разномасштабны, а археологические данные привязаны к разным хронологическим периодам, что порождает риск бессистемного совмещения разновременных трасс. Решению этой проблемы способствует внедрение методов геоинформационных систем и цифровой реконструкции, позволяющих интегрировать разрозненные археологические и картографические данные в единую пространственную модель.

Цель данной статьи – представить результаты создания единой цифровой ГИС-модели Великого шёлкового пути, объединяющей глобальную сеть маршрутов, восстановленную по открытым мировым картографическим источникам, с детальными локальными сегментами, реконструированными на основе археологических памятников Поволжья (домонгольский и золотоордынский периоды) и Сурхандарьинской области Республики Узбекистан.

Для достижения поставленной цели последовательно решались следующие задачи: анализ и систематизация глобальных данных и открытых цифровых карт; создание общеевразийской ГИС-сети маршрутов в среде ArcGIS Pro; обоснование методики вероятностного моделирования с адаптивными буферными зонами; реконструкция Волжского торгового пути от Астрахани до Казани; цифровая реконструкция сегмента в Сурхандарье с оцифровкой шести археологических памятников; интеграция локальных сегментов в единую модель и их катего-

ризация по трем хронологическим слоям: кушано-эллинистический (I–IV вв. н.э.), домонгольский (X–XIII вв.) и золотоордынский (XIII–XIV вв.).

Материалы и методы

Глобальная сеть маршрутов была переоцифрована из тематического отчета ИКОМОС под руководством Т. Уильямса [13, 14], а также с использованием открытых цифровых карт, в том числе карты «Одиссея» [11], исторического атласа Центральной Азии [8] и обзора иранских караван-сараев [12]. Данные источников носят генерализованный характер (масштаб 1:5 000 000 – 1:10 000 000) и используются как исходная гипотетическая сеть первого уровня, подлежащая проверке археологическими материалами.

Археологическая база по Поволжью сформирована на основе многолетних исследований Института археологии им. А.Х. Халикова АН РТ и включает пространственные данные по таким памятникам, как Селитренное городище, Укек, Болгарское городище, Казанский Кремль и др. [2, 3]. Данные по Сурхандарье получены из публикаций и полевых отчетов по городищам Дальверзинтепа [4], Кампыртепа [5], некрополю Чинортепа [6, 10], храмовым комплексам Фаязтепа [1] и Каратепа [9], а также наскальным рисункам ущелья Зараутсай [7]. Для уточнения рельефа и гидрографии привлекались открытые растровые слои World Hillshade, World Imagery (сервис ArcGIS) и разновременные спутниковые снимки Google Earth Pro.

Этапы построения ГИС-модели. Единая пространственная база данных создавалась путем интеграции всех доступных материалов в среду ArcGIS Pro. Методика включала:

– географическую привязку растровых карт-схем по опорным точкам с использованием современных космических снимков;

– векторизацию сухопутных и водных трасс с построением топологически корректной сети и заполнением атрибутивной таблицы (тип пути, хронологическая принадлежность, уровень достоверности);

– создание точечных объектов (населенные пункты, городища, крепости, караван-сараи, культовые сооружения) с атрибутами, извлеченными из опубликованных источников, включая поля «достоверность датировки» и «характер импорта».

Для каждого линейного сегмента принята трехуровневая шкала достоверности: 3 (высокий) – сегмент подтвержден археологически не менее чем тремя разнотипными артефактами дальнего импорта; 2 (средний) – имеются косвенные свидетельства (караван-сараи, топонимика, аналогии); 1 (низкий/гипотетический) – трассировка опирается исключительно на обобщенные исторические картографические источники.

В ходе интеграции источников и верификации сегментов по шкале достоверности общая протяженность моделируемой сети существенно возросла. Итоговая сумма длин всех векторизованных трасс (включая морские сегменты, региональные ответвления и альтернативные маршруты) превышает 150 000 км. Это значение принципиально отличается от традиционных оценок в 12–15 тыс. км, которые характеризуют лишь основную магистраль, тогда как в настоящей работе реконструируется вся разветвленная транспортная система.

Буферизация и вероятностные коридоры. При определении ширины буферных зон учитывались три группы факторов. Во-первых, хозяйственно-логистический радиус: необходимость обеспечения водными ресурсами и подножным кормом для вьючных животных. Поскольку караваны могли отклоняться от основного маршрута для водопоя и выпаса на расстояние до 10–15 км в каждую сторону, общая ширина коридора устойчивого освоения трассы должна составлять не менее 20–30 км. Во-вторых, историческая динамика миграции трасс: под воздействием политических или климатических факторов маршруты смещались, формируя «веер» дорог, и буферная зона шириной 30 км и более (в зависимости от рельефа) учитывает это латеральное смещение. В-третьих, топография и археологический контекст: буфер охватывает не только саму колею дороги, но и сопутствующую инфраструктуру (караван-сараи, колодцы, сторожевые башни, некрополи), которая часто располагалась на некотором удалении от оживленной трассы по соображениям безопасности или из-за особенностей рельефа. На

основе этих принципов для равнинных участков установлена буферная зона шириной 30 км в каждую сторону от оси маршрута, а для горных районов (ущелье Зараутсай и прилегающие территории) – 35 км с учетом исторических троп, зафиксированных на топографических картах масштаба 1:25 000 и в полевых отчетах 1960–1980 гг. [7].

Основная часть

Глобальная сеть и хронологическое разделение. Сформированная единая ГИС-модель охватывает сеть сухопутных и водных путей в масштабах Евразийского континента (рис. 1). Суммарная протяженность всех векторизованных сегментов сети – включая региональные ответвления, альтернативные трассы и морские маршруты – превышает 150 000 км. Такой масштаб подчеркивает исключительную разветвленность транспортной системы и ее роль в поддержании устойчивых экономических и культурных связей между отдаленными регионами Евразии.



Рис. 1. Сеть сухопутных и морских маршрутов Великого шелкового пути на территории евразийского континента

На карту нанесены тысячи объектов (караван-сараи, крепости, путевые станции, города, религиозные комплексы), что позволило детально оценить масштаб распространения путей и выделить ключевые узлы трансконтинентальных коммуникаций. В отличие от предшествующих картографических работ, в настоящем исследовании введено хронологическое разделение на три временных слоя: кушано-эллинистический (I–IV вв. н.э.), домонгольский (X–XIII вв.) и золотоордынский (XIII–XIV вв.). Такое разделение позволило избежать совмещения разновременных трасс и классифицировать маршруты по периодам, фиксируя динамику развития сети. Модель послужила основой для детальной реконструкции двух региональных сегментов – Волжского торгового пути и трасс Сурхандарьи.

Реконструкция Волжского торгового пути. Одним из ключевых направлений работы стала детальная реконструкция Волжского торгового пути как неотъемлемой части Великого шёлкового пути на основе пространственной привязки к археологическим объектам домонгольского и золотоордынского периодов [2, 3]. Опорными точками для построения маршрута стали памятники Волжской Булгарии и Золотой Орды. С учетом рельефа (World Hillshade), а также космоснимков World Imagery и Google Earth Pro и взаимного расположения памятников выполнена реконструкция маршрута в направлении с юга на север – от района современной Астрахани до Казани. Общая протяженность реконструированного маршрута составила 1 275 км, из которых 405 км имеют уровень достоверности 3, 620 км – уровень 2, 250 км – уровень 1.

Материальным подтверждением активной роли Волжского пути служат находки, зафиксированные при исследованиях ключевых памятников региона – Селитренного городища, Укека, Болгарского городища, Казанского Кремля и др. Среди них: стеклянные бусы, браслеты, перстни; бронзовые ковши из Нишапура и ступки из Малой Азии; глазурованная керамика мастерских Кашана и Рея; кашинная мозаика; китайский селадоновый фарфор; изделия сирийско-месопотамской школы (котелки). Уникальным свидетельством дальних связей являются и фрагменты остеологического материала из раскопок Казанского Кремля, идентифицированные как останки верблюда – животного, традиционно использовавшегося в караванной торговле (рис. 2).



Рис. 2. Артефакты дальнего импорта, зафиксированные на памятниках Поволжья (Селитренное городище, Болгар, Казанский Кремль, Укек)

Полученная модель позволила выявить пространственные закономерности. Наблюдается повышенная концентрация археологических объектов в двух ключевых зонах: Нижнем Поволжье (зона влияния Хазарского каганата и ранних этапов Золотой Орды) и Волго-Ка-

мье (ядро Волжской Булгарии). Такое распределение подтверждает роль этих территорий как важнейших узлов трансконтинентальной торговли, связавших Европу, Центральную Азию и Ближний Восток (рис. 3). Опыт реконструкции показал, что в районах, хорошо обеспеченных археологическими данными, где расположены крупные и детально изученные памятники (городища, торговые поселения), построение маршрута не вызывало затруднений. В менее изученных зонах трасса проводилась с опорой на цифровые модели рельефа и, в отдельных случаях, на сеть современных дорог, что требует дополнительной верификации. Для сегментов с уровнем достоверности 3 можно утверждать, что торговый путь с высокой вероятностью проходил в пределах данного коридора. Для уровней 2 и 1 необходимо полевое подтверждение и привлечение крупномасштабных исторических карт.

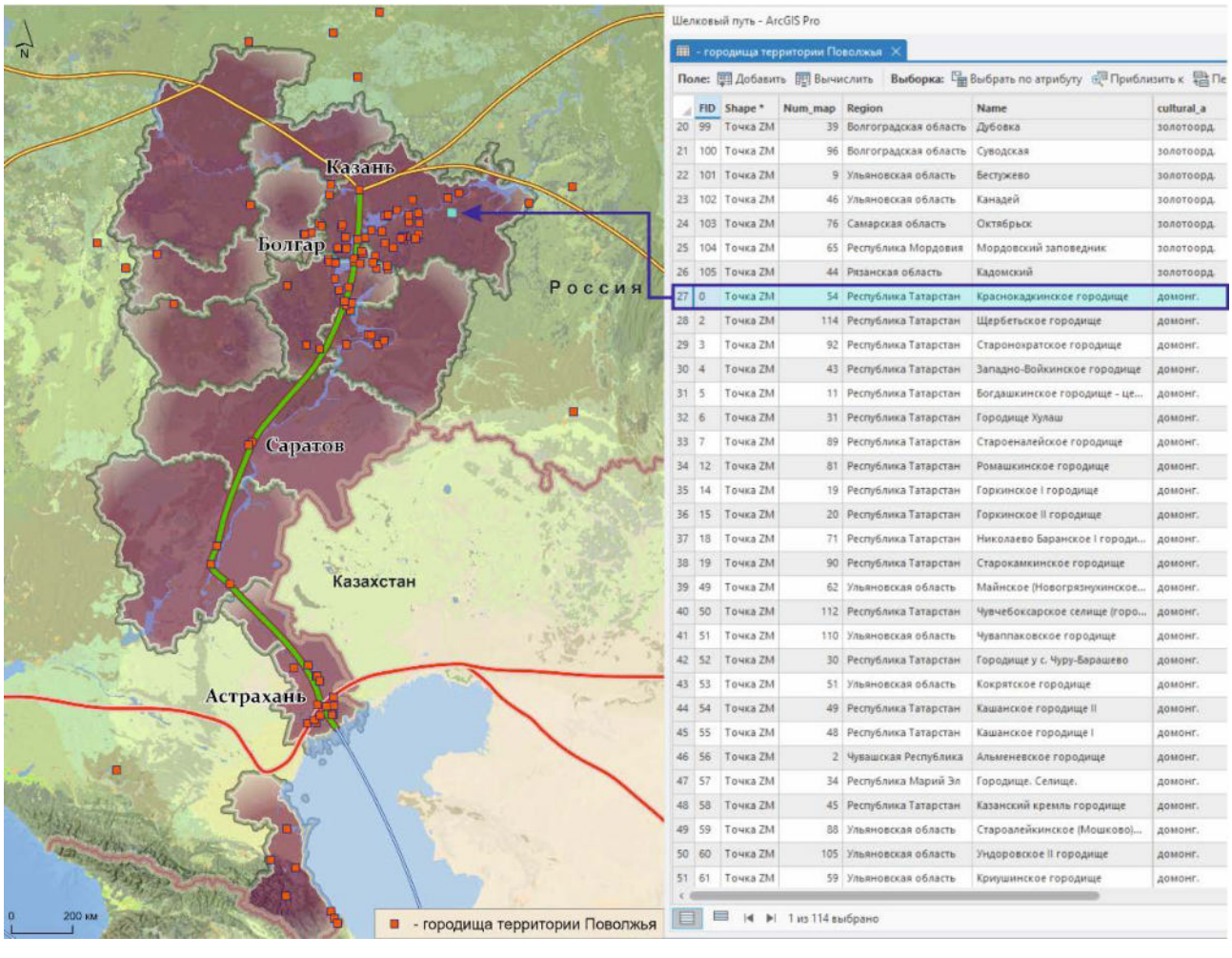


Рис. 3. Реконструкция Волжского торгового пути с локализацией археологических памятников домонгольского и золотоордынского периодов

Цифровая реконструкция сегмента в Сурхандарье. Второй локальный сегмент охватывает Сурхандарьинскую область Узбекистана – регион, где сосредоточены объекты, связанные с эпохой формирования Шёлкового пути (эллинизм, Кушанская империя). Выбор региона обусловлен его ключевым положением на перекрестке трансконтинентальных коммуникаций: именно здесь проходили главные трассы, соединявшие Китай, Среднюю Азию, Индию и Средиземноморье. В единую базу пространственных данных включены городища Дальверзинтепа и Кампыртепа, некрополь Чинортепа, храмовые комплексы Фаязтепа и Каратепа, а также наскальные изображения ущелья Зараутсай. Для каждого объекта определена пространственная привязка по координатам, уточнена хронология и функциональное значение на основе

доступных публикаций [1, 7, 4, 5]. На основе взаимного расположения памятников, анализа рельефа и исторических караванных трасс построен локальный маршрут, который затем интегрирован в общую ГИС-модель.

Дальверзинтепа – один из крупнейших античных городов Северной Бактрии (III в. до н.э. – IV вв. н.э.), площадь около 47 га. Город был окружен мощной оборонительной стеной (длина 2,5 км, толщина до 10 м) с галереями и боевыми площадками. Археологические свидетельства участия Дальверзинтепа в торговле исключительно разнообразны: дальверзинский клад (около 36 кг золотых изделий I в. н.э.), древнейшие в мире шахматные фигурки (I–II вв. н.э.), изделия из слоновой кости, бусы из драгоценных камней, терракотовые фигурки музыкантов с короткой лютней и бактрийской арфой. Особое значение имеют культовые сооружения – буддийские храмы II–III вв. н.э. с монументальной скульптурой, что подтверждает роль города как центра распространения буддизма по Шёлковому пути [4].

Кампыртепа (30 км к западу от Термеза) – городище на правом берегу Амударьи, отождествляемое с Александрией Оксианской (конец IV в. до н.э.) [5]. Функциональное значение памятника определяется его уникальным расположением на древней переправе через Амударью (Окс). Здесь осуществлялась перевалка товаров, располагались таможня и гостиница («пандохейон»). Важнейшим открытием на Кампыртепа стало обнаружение у ворот цитадели буддийского святилища, из основания которого извлечена терракотовая скульптурка сидящего Будды первой половины II в. н.э. Уникальность находки – в ее синкретическом характере: скульптура объединяет черты Будды и зороастрийского Ахура Мазды («Будда-Мазда»), что отражает процессы культурного и религиозного синтеза, происходившие на Шёлковом пути.

Чинортепа – погребальный памятник (I–IV в. н.э.), выявленный в 2019 г. совместной узбекско-китайской экспедицией [10]. Раскопки 2024–2025 гг. вскрыли более 30 домовых оснований в шести культурных слоях. Некрополи представлены двумя типами погребений: подбойные могилы (кочевая традиция) и наусы – наземные склепы из сырцового кирпича (оседлая традиция). Материальная культура включает керамику (кубки, амфоры, чаши), расписные фигурки, пряслица, жернова, монеты Вимы Кадфиза, палеоботанические данные (семена пшеницы, риса, винограда), что подтверждает развитое земледелие и культурные связи.

Фаязтепа и *Каратепа* – буддийские храмовые комплексы I в. до н.э. – III–IV в. н.э., расположенные в Старом Термезе [1, 9]. Комплексы включают храмы, монастыри, ступы, жилые и хозяйственные помещения. Настенные росписи и скульптура демонстрируют влияние гандхарского искусства и свидетельствуют о роли указанных комплексов как центров паломничества и трансляции буддизма из Индии. *Ущелье Зараутсай* – галерея наскальных рисунков (XII–V тыс. до н.э.), которые хотя хронологически предшествуют Шёлковому пути, фиксируют древние проходы, тысячелетиями использовавшиеся как естественные транспортные артерии и позже включенные в караванную сеть [7].

Для Сурхандарьи также применена адаптивная буферизация: для равнинных участков вдоль реконструированных трасс созданы коридоры шириной 30 км, для горных районов (ущелье Зараутсай) буфер расширен до 35 км. Большинство значимых объектов базы данных попадают в эти коридоры, что подтверждает обоснованность выбранной методики (рис. 4).

Интеграция данных и значение для общей модели. Интеграция оцифрованных памятников Сурхандарьи в единую ГИС-модель наряду с данными по Поволжью позволила расширить географию исследования на южную часть Центральной Азии – ключевой регион формирования Шёлкового пути; пространственно сопоставить и уточнить глобальные трассы на основе конкретного археологического материала, присваивая каждому сегменту уровень достоверности; создать основу для сравнительного анализа узловых центров разных хронологических периодов и географических зон. Археологические материалы Сурхандарьи – от дальверзинского клада и древнейших шахмат до портовых сооружений Кампыртепа и буддийских храмов – свидетельствуют, что данный регион являлся одним из ключевых сегментов Великого шёлкового пути, где пересекались и взаимодействовали цивилизации Востока и Запада. Таким

образом, полученная модель представляет собой макрорегиональную цифровую реконструкцию вероятностных коридоров Великого шёлкового пути. Её главное отличие от предшествующих картографических работ заключается во введении трёхуровневой шкалы достоверности и адаптивной буферизации, что позволяет избежать ложной точности и делает результаты верифицируемыми.

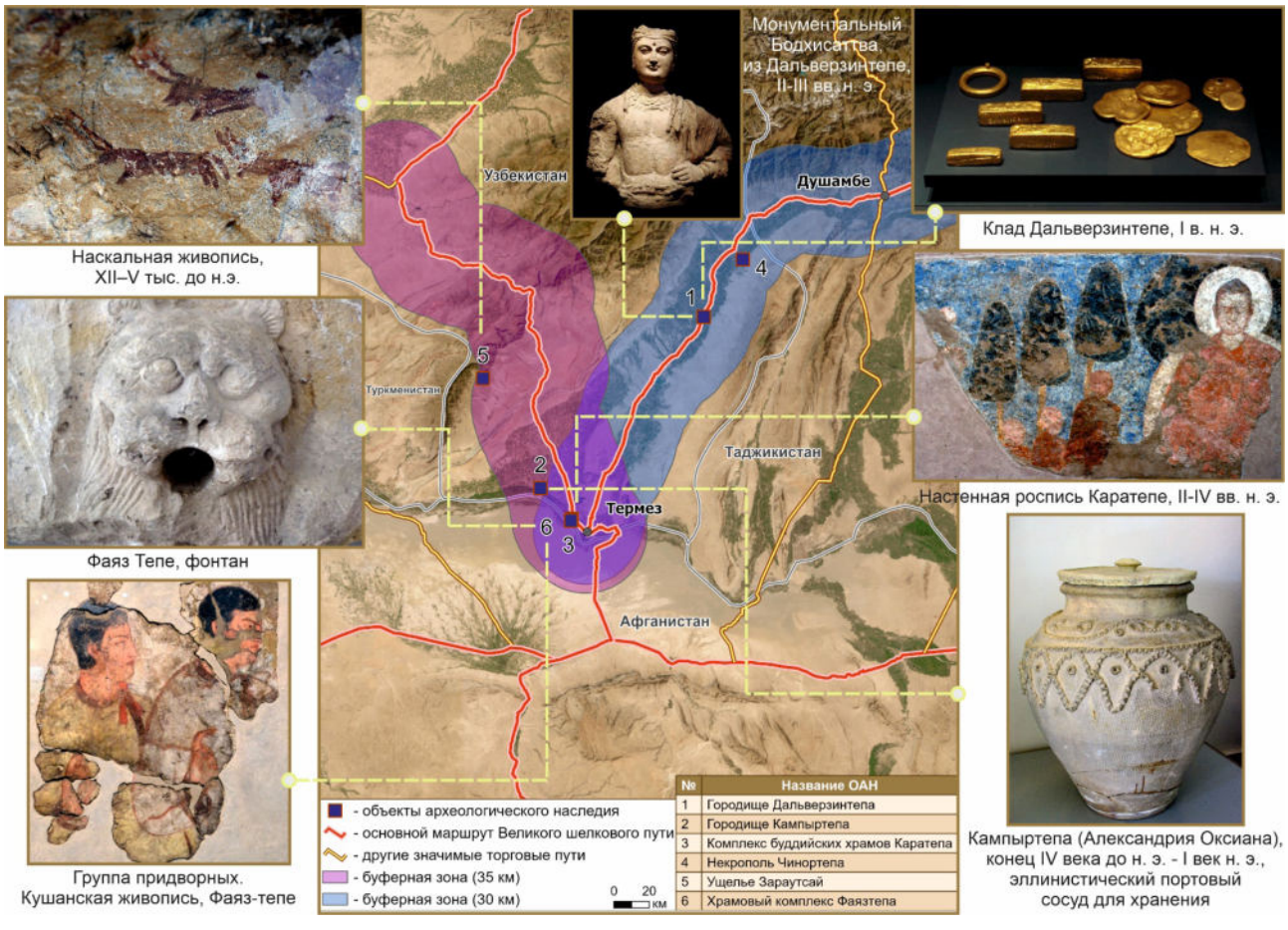


Рис. 4. Реконструкция маршрута Великого шёлкового пути и прилегающих археологических комплексов Сурхандарьи (с иллюстрациями находок и архитектуры)

Выводы

В ходе исследования создана единая цифровая ГИС-модель Великого шёлкового пути, объединяющая сеть маршрутов (итоговая протяженность всех векторизованных трасс превышает 150 000 км) с локальными сегментами в Поволжье и Сурхандарье. В модели реализовано хронологическое разделение на три временных слоя – кушано-эллинистический, домонгольский и золотоордынский, что позволило избежать совмещения разновременных трасс.

Реконструкция Волжского торгового пути (1 275 км, из которых 405 км подтверждены археологически) обосновала его статус как части Шёлкового пути. Находки дальнего импорта (бронза из Нишапура, китайский фарфор, останки верблюда в Казанском Кремле) и концентрация памятников в Нижнем Поволжье и Волго-Камье подтверждают роль указанных территорий как узлов трансконтинентальной торговли.

Для Сурхандарьи оцифрованы памятники (Дальверзинтепа, Кампыртепа, Чинортепа, Фаязтепа, Каратепа, ущелье Зараутсай), на основе которых построен локальный караванный маршрут. Археологические материалы – от дальверзинского клада и древнейших шахмат до портовых сооружений Кампыртепа и буддийских храмов – свидетельствуют, что Бактрия являлась одним из ключевых сегментов Шёлкового пути. Применение адаптивных буферных зон

и трёхуровневой шкалы достоверности позволило повысить точность модели и создать унифицированную цифровую платформу для дальнейших трансграничных исследований.

Важным ограничением представленной модели является её макрорегиональный характер: она верифицирует вероятностные коридоры, но не точное положение древних троп. Уточнение трасс на локальном уровне (масштаб 1:25 000 и крупнее) требует дополнительных полевых археологических работ, включая зачистку и GPS-фиксацию остатков древних дорожных насыпей, которые пока не обнаружены на большинстве участков. Перспективы дальнейших исследований включают расширение базы данных за счет новых объектов, применение методов стоимостного расстояния и сетевого анализа, статистическую проверку кластеризации артефактов дальнего импорта относительно буферных зон, интеграцию исторических карт крупного масштаба, проведение дополнительных полевых работ на слабоизученных участках, а также публикацию полных метаданных ГИС-модели в открытых репозиториях, что позволит независимо верифицировать полученные данные. Созданная ГИС-модель может служить основой для междисциплинарных проектов по сохранению культурного наследия и развитию транснационального туризма вдоль маршрутов Великого шёлкового пути.

Список литературы

1. Альбаум Л.И. Буддийский комплекс Фаязтепа (к столетию открытия) // История материальной культуры Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1990. – Вып. 25. – С. 20-31.

2. Валеев Р.М. Tartaria на Великом шёлковом пути. – Самарканд: МИЦАИ, 2023. – 258 с.

3. Валеев Р.М., Воробьева Е.Е., Сайфутдинова Г.М., Ситдиков А.Г. Волжский торговый путь как часть великого шелкового пути // Культуры и цивилизации Центральной Азии от неолита до средневековья. Материалы международной научной конференции, посвященной 120-летию А.М. Беленицкого, 95-летию В.М. Массона и 100-летию Ю.А. Заднепровского. – СПб., 2024. – С. 411-414.

4. Пугаченкова Г.А. Дальверзинтепе – кушанский город на юге Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1978. – 237 с.

5. Рtваладзе Э.В. Кампыртепа – Александрия Оксианская: город-крепость на берегу Окса в эллинистическое и постэллинистическое время (конец IVв. до н.э. – I в. до н.э.). – Ташкент: San`at, 2017. – 148 с.

6. Тан Юньпэн, Бердимурадов А.Э., Хасанов М., Ван Цзяньсинь. Основные результаты археологических работ в бассейне реки Сурхандарья в Узбекистане // Теория и практика археологических исследований. – 2022. – Т. 34, №4. – С. 191–214.

7. Формозов А.А. Очерки по первобытному искусству: наскальные изображения и каменные изваяния. – М.: Наука, 1969. – 256 с.

8. Bregel Y. An Historical Atlas of Central Asia. – Leiden: Brill, 2003. – 109 p.

9. Iwamoto Atsushi. Kara Tepe – Buddhist Complex of Termez 2014-2017. – Tokyo: Rokuichi Shobo, 2020. – 312 p.

10. Northwestern University – Uzbekistan Joint Expedition. Preliminary Report on the 2024–2025 Excavations at Chinortepa / ed. by Wang Jianxin, Tang Yunpeng. – Xi'an : Institute of Cultural Heritage, Northwestern University, 2025. – 87 p.

11. Odyssey. The Ancient Silk Road: map / Odyssey. – 2nd ed. – 2011.

12. Sykes E. Caravanserais of Iran / E. Sykes. – London, 1949. – 112 p.

13. Williams T. Silk Roads: An ICOMOS Thematic Study – Charenton-le-Pont: ICOMOS, 2014. – 126 p. – URL: https://www.icomos.org/images/mediatheque/ICOMOS_WHThematicStudy_SilkRoads_final_lv_201406.pdf (дата обращения: 07.05.2024).

14. Williams T. ICOMOS Thematic Study and the Eastern Silk Roads // The Silk Road. – 2016. – Vol. 14. – P. 17-29. – URL: https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1503702/1/Williams%202016%20ICOMOS%20thematic%20study%20and%20the%20Eastern%20Silk%20Roads.pdf (дата обращения: 07.05.2025).

УДК 7.012:39(574)

ОТ ГЛОБАЛЬНОГО К ЛОКАЛЬНОМУ: СТРАТЕГИИ АКТУАЛИЗАЦИИ КУЛЬТУРНОГО КОДА В ДИЗАЙНЕ КАЗГИК

Салахов Р.Ф., к.пед.н., доцент, декан факультета «Социальные коммуникации и дизайн»;
Салахова Р.И., к.пед.н., доцент, заведующий кафедрой;
Рыбасова Ю.Ю., к.пед.н., доцент;
Ханипова Д.Р., к.ф.н., доцент кафедры «Гуманитарные науки и дизайн» ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

FROM GLOBAL TO LOCAL: STRATEGIES FOR UPDATING THE CULTURAL CODE IN KAZGIK DESIGN

Salakhov R.F., PhD in Pedagogy, Associate Professor, Dean of the Faculty of Social Communications and Design;
Salakhova R.I., PhD in Pedagogy, Associate Professor, Head of Department;
Rybasova Yu.Yu., PhD in Pedagogy, Associate Professor;
Khanipova D.R., PhD in Pedagogy, Associate Professor, Department of Humanities and Design, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

В данной статье рассматривается вопрос обновления культурного кода в дизайне образовательных учреждений в сфере культуры на фоне глобализации визуальной коммуникации. Современные университеты функционируют в высококонкурентном информационном пространстве, где визуальная идентичность является ключевым инструментом построения репутации, передачи ценностных ориентиров и укрепления институционального бренда. Особое внимание уделяется изучению стратегий внедрения элементов местного культурного наследия в визуальную концепцию Казанского государственного института культуры. Работа основана на комплексном анализе современных методов проектирования образовательной среды, принципов визуальной идентификации и способов отражения региональной культуры посредством графического дизайна. В результате сделан вывод о том, что использование культурного кода региона способствует созданию устойчивого и легко узнаваемого образа образовательного учреждения, обеспечивая гармоничное сочетание современных дизайнерских тенденций и национальных культурных традиций.

Ключевые слова: культурный код, визуальная идентичность, дизайн, бренд образовательной организации, Татарстан, Казанский государственный институт культуры, региональная культура

Abstract

This article examines the issue of updating the cultural code in the design of educational institutions in the field of culture against the background of the globalization of visual communication. Modern universities operate in a highly competitive information space, where visual identity is a key tool for building a reputation, transmitting value guidelines and strengthening the institutional brand. Particular attention is paid to studying the strategies for introducing elements of local cultural heritage into the visual concept of the Kazan State Institute of Culture. The work is based on a comprehensive analysis of modern methods for designing the educational environment, principles of visual identification, and ways of reflecting regional culture through graphic design. As a result, it is concluded that the use of the region's cultural code contributes to the creation of a stable and easily

recognizable image of an educational institution, ensuring a harmonious combination of modern design trends and national cultural traditions.

Keywords: cultural code, visual identity, design, brand of an educational organization, Tatarstan, Kazan State Institute of Culture, regional culture

Введение

Процессы глобализации существенно трансформировали современную систему визуальных коммуникаций. Унификация дизайнерских решений, распространение международных стандартов фирменного стиля и цифровых интерфейсов способствовали формированию единого визуального пространства, в котором образовательные учреждения вынуждены конкурировать не только качеством образовательных программ, но и образом, воспринимаемым обществом [7].

В этих условиях возрастает значение локальной идентичности как ресурса формирования уникального бренда организации. Современный дизайн перестает выполнять исключительно декоративную функцию. Он становится средством культурной коммуникации, позволяющим передавать ценности, историческую память и особенности территории через систему визуальных символов.

Особенно актуальной данная проблема становится для учреждений культуры, деятельность которых непосредственно связана с сохранением и развитием национального наследия. В последние годы исследователи все чаще обращаются к понятию культурного кода как совокупности устойчивых символов, образов, знаков и смыслов, формирующих культурную идентичность общества. Визуальная интерпретация культурного кода позволяет не только сохранять традиции, но и адаптировать их к современному медиапространству.

Современная культурная политика Республики Татарстан ориентирована на сохранение национальной идентичности при активном участии в глобальном культурном пространстве. Именно поэтому дизайнерские проекты, реализуемые в регионе, стремятся сочетать международные принципы визуальной коммуникации с локальными культурными особенностями. Подобный подход позволяет создавать современные визуальные продукты, сохраняющие связь с историческим наследием.

Для учреждений культуры такой подход приобретает особое значение. Использование культурного кода становится не декоративным приемом, а способом передачи ценностей, отражающих специфику образовательной организации. Через систему графических элементов, фирменной символики, навигации, выставочного оформления и цифровых коммуникаций формируется целостное представление о миссии учреждения и его месте в культурной жизни региона [3].

В начале XXI века система высшего образования оказалась включенной в глобальное информационное пространство, где образовательные организации конкурируют не только качеством образовательных программ, но и способностью формировать узнаваемый публичный образ. В этих условиях дизайн становится одним из инструментов стратегической коммуникации, позволяющим университету выстраивать отношения с абитуриентами, студентами, преподавателями, партнерами и профессиональным сообществом. Под влиянием глобализации большинство университетов используют схожие принципы визуальной организации [6].

Таким образом, стратегия движения «от глобального к локальному» позволяет рассматривать культурное наследие не как препятствие развитию современного дизайна, а как источник формирования уникальной визуальной идентичности. Для Казанского государственного института культуры подобный подход способен стать важным фактором укрепления собственного бренда, повышения узнаваемости образовательной организации и сохранения культурных традиций Республики Татарстан в современном информационном пространстве.

Казанский государственный институт культуры занимает особое место в системе высшего образования России, поскольку объединяет подготовку специалистов в области ис-

кусства, культурологии, дизайна, библиотечно-информационной деятельности, режиссуры и социально-культурных технологий. Специфика деятельности института предполагает постоянное обращение к вопросам сохранения и развития культурного наследия, что находит отражение не только в образовательном процессе, но и в визуальной коммуникации учреждения.

Современный дизайн образовательной организации представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов, включающий официальный логотип, фирменную цветовую палитру, полиграфическую продукцию, навигацию внутри учебных корпусов, оформление официального сайта, социальных сетей, выставочных пространств и презентационных материалов [1].

Использование лаконичных гарнитур в сочетании с композиционными приемами, основанными на традиционной пластике татарского декоративного искусства, позволит создать выразительную и современную систему визуальной коммуникации. Особое значение приобретает цветовое решение. В настоящее время большинство образовательных организаций используют ограниченную фирменную палитру, обеспечивающую высокую узнаваемость бренда. Для Казанского государственного института культуры перспективным представляется использование цветовой системы, основанной на культурной символике Республики Татарстан. При этом важно соблюдать баланс между национальной образностью и современными требованиями цифровой среды, где цвет должен одинаково эффективно работать как в печатной продукции, так и на экранах мобильных устройств [5].

Актуализация культурного кода может быть реализована и посредством оформления внутреннего пространства института. Навигационные элементы, информационные стенды, выставочные конструкции, интерьерная графика способны формировать единую визуальную среду, отражающую ценности образовательной организации.

Подобное решение способствует не только повышению удобства ориентации, но и формированию эмоциональной связи студентов с университетским пространством. Современная цифровая коммуникация также требует использования единого дизайнерского подхода. Официальный сайт, страницы института в социальных сетях, электронные презентации, афиши и рекламные материалы должны восприниматься как части единой визуальной системы. Именно последовательность применения фирменных элементов обеспечивает устойчивое восприятие бренда образовательной организации.

Список литературы

1. Global Nomads: этнофутуризм в дизайне казахстанской одежды [Электронный ресурс] // Бюро этнодизайна. – 2026. – URL: https://ethnobureau.kz/global-nomads (дата обращения: 26.06.2026).

2. Ержанова, А. Б. Парадигма этнодизайна одежды как элемента культурной идентичности народа Казахстана / А. Б. Ержанова, Г. К. Искакова, А. С. Турарова, Ж. Е. Исмаилова // Известия Казахской академии транспорта и коммуникаций. – 2025. – № 1 (126). – С. 88–96.

3. Кожахметова, А. Т. Этнокультурный код в современном костюме: от традиционных форм к инновационным дизайн-решениям / А. Т. Кожахметова // Мода и дизайн: история, теория, практика : сборник научных трудов. – Алматы : КазНАИ им. Т. Жургенова, 2025. – Вып. 12. – С. 134–142.

4. Мухамеджанова, Р. А. Художественные особенности казахского национального костюма: традиции и современность / Р. А. Мухамеджанова // Культура и искусство Казахстана. – 2023. – № 3 (65). – С. 85–93.

5. Нургалиева, Д. Н. Роль национального культурного кода в подготовке дизайнеров: опыт КазГИК / Д. Н. Нургалиева // Вестник Казанского государственного института культуры. – 2025. – № 2 (48). – С. 168–175.

6. Омарова, А. С. Традиционные технологии в современном дизайне костюма: опыт КазГИК [Электронный ресурс] / А. С. Омарова, Г. Т. Абдрахманова // Международный журнал экспериментального образования. – 2024. – № 6. – URL: https://expeducation.ru/ru/article/view?id=12038 (дата обращения: 26.06.2026).

7. Смагулова, А. Ж. Инновационные методы декорирования в дизайне одежды с этническими мотивами / А. Ж. Смагулова // Техника и технология легкой промышленности. – 2024. – № 2 (48). – С. 70–78.

8. Турарова, А. С. Цветовая символика в казахском костюме как основа для создания современных коллекций / А. С. Турарова // Дизайн и технологии. – 2025. – № 1 (37). – С. 22–28.

9. Шарипова, А. Е. Образовательные практики актуализации культурного кода в дизайне КазГИК / А. Е. Шарипова // Искусство и образование. – 2025. – № 4. – С. 45–52.

10. Этно-конструктор: дизайн-проект студентов КазГИК [Электронный ресурс] // Факультет инноваций и традиций народной художественной культуры КазГИК. – 2026. – URL: https://kazgik.ru/faculties/innovations-traditions (дата обращения: 26.06.2026).

УДК 316.6

ВОСПРИЯТИЕ ЛИЧНОСТЬЮ ЦИФРОВОГО ПРОСТРАНСТВА КАК ЭЛЕМЕНТ ЦИФРОВИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОГО РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА

Сироткин Ю.Л., к.с.н., доцент кафедры гуманитарных и специальных дисциплин Казанского института (филиала) Всероссийского государственного университета юстиции (РПА Минюста России), г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-9434-6314

PERCEPTION OF THE DIGITAL SPACE BY AN INDIVIDUAL AS AN ELEMENT OF DIGITALIZATION OF MODERN RUSSIAN SOCIETY

Sirotkin Yu.L., Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Humanities and Special Disciplines, Kazan Institute (branch) All-Russian State University of Justice (Russian Ministry of Justice), Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-9434-6314

Аннотация

Статья посвящена психолого-философскому анализу восприятия цифрового пространства личностью в контексте цифровизации современного российского общества. Цифровое пространство рассматривается не как нейтральный инструмент, а как экзистенциальная среда, трансформирующая базовые структуры самосознания, телесности, идентичности и субъектности человека. На основе эмпирических данных и концепций феноменологии, экзистенциальной психологии и постфеноменологии раскрываются глубинные барьеры восприятия – утрата онтологической безопасности, разрыв между цифровым и телесным опытом, дефицит доверия как экзистенциального отношения. Анализируется нормативно-правовая база защиты персональных данных в России. Делается вывод о необходимости формирования цифровой среды, ориентированный не только на управляемость, но и на сохранение личностной автономии, смысловой связанности опыта и способности к рефлексивному выбору.

Ключевые слова: цифровое пространство личности, восприятие, доверие, субъектность, идентичность, цифровой профиль, цифровизация

Abstract

The article is devoted to the psychological and philosophical analysis of the individual's perception of digital space in the context of the digitalization of modern Russian society. Digital space is viewed not as a neutral tool, but as an existential environment that transforms the basic structures of self-awareness, corporeality, identity, and human subjectivity. Based on empirical and the concepts of phenomenology, existential psychology, and post-phenomenology, the article explores the underlying barriers to perception, such as the loss of ontological security, the gap between digital and bodily experiences, and the lack of trust as an existential relationship. The article also analyzes the legal framework for protecting personal data in Russia. The article concludes that it is necessary to create a digital environment that focuses on preserving personal autonomy, the meaningfulness of experiences, and the ability to make reflective choices rather than on control.

Keywords: digital personality space, perception, trust, subjectivity, identity, digital profile, digitalization

Введение

Цифровизация современного общества представляет собой не просто технологический переход, но фундаментальный антропологический сдвиг. Цифровое пространство перестаёт быть внешним инструментом и становится средой обитания, в которой человек формирует, транслирует и переосмысливает собственную идентичность. Как справедливо отмечает Н.Ю. Блиничкина, значительная часть национального дохода ведущих экономик мира формируется при непосредственном использовании цифровых технологий [5, с. 29]. Вместе с тем, за экономическими показателями скрывается более глубокая трансформация: цифровое пространство вторгается в структуры самосознания, изменяя способы восприятия времени, пространства, другого человека и самого себя.

В российской практике эта трансформация приобретает особую остроту. Согласно данным Министерства цифрового развития, цифровым профилем на портале «Госуслуги» воспользовались 73,5 млн человек, выдано 210 млн согласий на обработку персональных данных [4]. Приведенные данные свидетельствуют о масштабной интеграции цифровых механизмов в повседневную жизнь, за которой стоит сложный психологический феномен: человек вынужден выстраивать новые отношения с собственной цифровой копией, которая одновременно является и им самим, и инструментом внешнего контроля.

Нормативно-правовую основу этих процессов составляют Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» [1], Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [2], Федеральный закон от 08.06.2020 № 168-ФЗ «О едином федеральном информационном регистре, содержащем сведения о населении Российской Федерации» [3]. Однако правовые гарантии, как показывают эмпирические исследования, не всегда трансформируются в психологическое чувство безопасности [6, с. 14].

Цель настоящего исследования – выявление глубинных психолого-философских механизмов восприятия цифрового пространства личностью; определение экзистенциальных барьеров и условий формирования устойчивого доверия к цифровой инфраструктуре в современной России.

Методология

Теоретико-методологическую основу исследования составил комплексный междисциплинарный подход, интегрирующий инструментарий философской феноменологии, экзистенциальной психологии и социологии цифровых коммуникаций.

1. Философско-феноменологический уровень. В качестве базовой исследовательской практики использован феноменологический метод (Э. Гуссерль, М. Хайдеггер, М. Мерло-Понти), позволивший осуществить «возвращение к самим вещам» – описать восприятие цифрового пространства как непосредственный жизненный опыт личности, освобожденный от

готовых социологических категорий. Феноменологическая редукция дала возможность проанализировать интенциональные акты сознания, направленные на цифровые объекты, а также выявить конститутивную роль телесности (М. Мерло-Понти) в формировании цифрового опыта. Понятие Dasein (М. Хайдеггер) было адаптировано к цифровому контексту для описания нового модуса «бытия-в-цифровом-мире», где фундаментальные экзистенциалы (забота, настроение, понимание) претерпевают цифровые модификации [6, с. 17].

2. Экзистенциально-психологический уровень. В работе использованы категориальные схемы Э. Эриксона (базовое доверие к миру как фундаментальная структура личности), Э. Гидденса (онтологическая безопасность как базовое чувство устойчивости и предсказуемости) и элементы психоаналитического подхода к проблеме идентичности и нарративной связности «Я». Это позволило перевести анализ из плоскости «оценки сервиса» в плоскость экзистенциальных переживаний – тревоги, утраты контроля, расщепления идентичности [9, с. 9; 6, с. 21].

3. Герменевтический подход. Применен для интерпретации не только текстов нормативных актов и исследовательских отчетов, но и самого «языка» цифровых интерфейсов, а также субъективных нарративов пользователей об их опыте взаимодействия с цифровым профилем. Это позволило выявить смысловые разрывы между юридическими гарантиями и психолого-философским восприятием, а также между функциональностью сервисов и экзистенциальными потребностями личности [10, с. 18].

4. Эмпирические методы (вторичный анализ данных). Исследование опирается на репрезентативные социологические данные, полученные в период 2022 – 2026 гг.:

а) кластерный анализ типов интернет-активности российских граждан (Е.В. Андрианова, Г.Ф. Ромашкина, М.В. Худякова) [7, с. 80 – 84];

б) корреляционный анализ связи цифрового неравенства с индексом процветания (Н.Ю. Блиничкина) [5, с. 30-33];

в) качественный анализ пользовательского опыта взаимодействия с порталом «Госуслуги» на основе глубинных интервью (Е. Дунаев) [6, с. 23-27];

г) анализ взаимосвязи цифрового и политического доверия на основе опросных данных (В. Егоров) [9, с. 8-12].

5. Компаративистский метод. Привлечение зарубежных исследований (С.Ван Стаден и Н.Дж. Бидвелл; Л. Видиасова, Ф. Кронембергер, Ю.Кабанов; кросс-национальное исследование электронной идентичности в Европе и США) позволило дифференцировать универсальные психологические закономерности восприятия цифровых сервисов и культурно-специфические механизмы доверия, обусловленные локальными социальными практиками и историческим опытом взаимодействия с социальными институтами [10, с. 5-18; 11, с. 148-159; 12, с. 3-12].

6. Специальный метод (авторская концептуализация). В работе применён метод проблемно-рефлексиной концептуализации, в рамках которого на основе синтеза философских, психологических и эмпирических данных введены новые категории для описания барьеров восприятия цифрового пространства: «экзистенциальная уязвимость» (в расширенном значении, включающем онтологическую тревогу), «расщепление идентичности» (конфликт между физическим и цифровым «Я»), «утрата темпоральной связности» (разрушение биографического нарратива), а также предложена оппозиция «управляемый гражданин vs рефлексивная личность» как основа для проектирования цифровой среды, ориентированной на сохранение личностной автономии.

Основная часть

1. Философско-антропологические основания восприятия цифрового пространства

Для понимания восприятия цифрового пространства личностью необходимо выйти за рамки инструментального подхода, рассматривающего цифровые сервисы как нейтральные средства достижения целей. Цифровое пространство – это особая онтологическая реальность, в которой конституируются новые модусы человеческого бытия.

В феноменологической традиции, восходящей к Э. Гуссерлю и М. Хайдеггеру, восприятие всегда является интенциональным: оно направлено на мир и одновременно конституирует этот мир как значимый. Цифровое пространство в этом контексте выступает не как «окно в мир», а как самостоятельная смыслопорождающая среда. Хайдеггеровское понятие Dasein – «бытие-в-мире» – приобретает новое измерение: человек оказывается «бытием-в-цифровом-мире», где фундаментальные экзистенциалы (забота, настроение, понимание, речь) получают цифровую модификацию.

Особое значение имеет проблема телесности. В классической феноменологии (М. Мерло-Понти) восприятие укоренено в телесном опыте: тело является не объектом среди объектов, а условием всякого восприятия. Цифровое пространство, напротив, предлагает «бестелесное» присутствие, где взаимодействие опосредовано интерфейсами, аватарами и цифровыми следами. Этот разрыв между телесным и цифровым опытом порождает фундаментальную тревогу: человек перестает ощущать себя целостным, его идентичность расщепляется на «физическое Я» и «цифровое Я», причем последнее может существовать и функционировать без участия первого [6, с. 17].

С этим связана проблема цифровой идентичности. В психоаналитической традиции идентичность понимается как результат непрерывного нарратива, связывающего прошлое, настоящее и будущее. Цифровой профиль, аккумулирующий персональные данные, создает «внешний нарратив» о человеке, который может не совпадать с его внутренним самоощущением. Как показывают исследования, пользователи испытывают дискомфорт от того, что «система знает о них больше, чем они сами», что подрывает базовое чувство контроля над собственной жизнью [9, с. 9]. Таким образом, восприятие цифрового пространства – это не просто оценка удобства или безопасности сервиса, а глубинный экзистенциальный процесс, затрагивающий структуры самосознания, телесности, временности и социальности.

2. Психологические детерминанты восприятия цифровой среды

Современная психология рассматривает восприятие цифрового пространства через призму когнитивных, эмоциональных и поведенческих компонентов. Однако, как показывают исследования, эти компоненты не являются независимыми: они укоренены в более фундаментальных психологических структурах – базовом доверии к миру, толерантности к неопределенности и способности к рефлексии.

Доверие как экзистенциальное отношение. В классической психологии (Э. Эриксон) базовое доверие формируется на ранних этапах развития и становится основой отношения к миру. В цифровой среде доверие приобретает новую модальность: оно направлено не на конкретного другого, а на абстрактную систему – алгоритмы, базы данных, процедуры идентификации. Как показывает исследование В. Егорова, в российском контексте доверие к цифровым сервисам тесно связано с политическим доверием, при этом попытка изолировать «цифровое доверие» как независимый фактор не дала значимых результатов [9, с. 12]. Это означает, что восприятие цифрового пространства не является автономным психологическим процессом: оно всегда опосредовано более широкими социальными установками и историческим опытом взаимодействия с общественными институтами.

Контроль и субъектность. Одним из ключевых психологических барьеров является ощущение утраты контроля. Человек взаимодействующий с цифровыми сервисами, часто не понимает, какие данные собираются, как они обрабатываются и кто имеет к ним доступ. Это порождает состояние «выученной беспомощности»: пользователь перестает воспринимать себя как активного субъекта, способного влиять на ситуацию, и становится пассивным объектом цифровых манипуляций [6, с. 21]. Исследование Е. Дунаева показывает, что для молодых пользователей особенно важны ясность процедуры, возможность исправить ошибку и наличие обратной связи – именно эти элементы восстанавливают чувство субъектности и контроля [6, с. 23].

Тревога и онтологическая безопасность. В работах Э. Гидденса понятие «онтологическая безопасность» используется для описания базового чувства устойчивости и предсказуемости мира. Цифровое пространство, с его скоростью изменений, алгоритмической непрозрачностью и рисками утечек, подрывает эту безопасность. Пользователь постоянно находится в состоянии «настороженного ожидания»: он не знает, как его данные будут использованы завтра, и это порождает хроническую тревогу, которая не снимается даже при формальном соблюдении правовых норм [1, ст. 7]. Как показывают зарубежные исследования, восприятие приватности и рисков глубоко культурно обусловлено: в разных обществах существуют различные «пороги» допустимого вмешательства в личную жизнь [10, с. 18].

3. Нормативно-правовое регулирование как психологический фактор

Правовые гарантии защиты персональных данных выполняют не только регулятивную, но и психологическую функцию: они призваны восстанавливать чувство безопасности и контроля. Федеральный закон № 152-ФЗ [1] закрепляет принципы обработки персональных данных: законность, ограничение целями, точность, конфиденциальность (ст. 5, 7). Статья 9 устанавливает добровольный характер согласия на обработку данных, а статья 14 предоставляет субъекту право на получение информации об обработке и требование уточнения или уничтожения данных.

Однако, как показывают эмпирические исследования, правовые нормы остаются для большинства граждан «черным ящиком». Пользователи не знают своих прав, не понимают различий между обработкой с согласия и без него, не осознают последствий передачи данных коммерческим структурам в соответствии с Постановлением № 346, расширяющим доступ к цифровым профилям для участников фондового рынка. Это «правовой разрыв» между нормой и восприятием становится самостоятельным барьером: даже при наличии защиты люди не чувствуют себя защищенными, и их тревога не снижается [7, с. 85].

Федеральный закон № 168-ФЗ «О едином федеральном информационном регистре» [3] и Постановление правительства РФ № 710, направленные на связанность данных, усиливают эффективность государственного управления, но одновременно создают образ «цифрового паноптикума» – системы тотального наблюдения, в которой человек лишается приватности. Этот образ, даже если он не соответствует реальности, становится мощным психологическим барьером, формирующим настороженное и дистанцированное отношение к цифровым сервисам.

4. Барьеры восприятия: экзистенциальное измерение

На основе проведенного анализа можно выделить три глубинных барьера восприятия цифрового пространства, имеющих не столько технологическую, сколько экзистенциальную природу. Первый барьер – расщепление идентичности. Цифровой профиль создает «второе Я» человека, которое существует независимо от его сознательных усилий. Это порождает когнитивный диссонанс: человек не может интегрировать цифровую версию себя в целостный нарратив собственной жизни. Как показывают исследования, это расщепление особенно остро переживается молодыми пользователями, у которых ещё не сформировалась устойчивая идентичность [6, с. 27]. Второй барьер – утрата темпоральной связности. В цифровом пространстве время теряет свою естественную структуру: данные хранятся вечно, их можно изменять задним числом, они не подчиняются логике человеческой памяти, которая забывает, переосмысливает и трансформирует прошлое. Это разрушает фундаментальную способность человека выстраивать связную биографию, что в психотерапевтической традиции рассматривается как необходимое условие психического здоровья [10, с. 25]. Третий барьер – дефицит доверия как межличностного отношения. Доверие в цифровой среде лишено персонализации: человек доверяет не конкретному лицу, а системе, алгоритму, процессу. При этом, как показывают исследования Л. Видиасовой и соавторов, человеческая психика устроена так, что

доверие всегда требует «другого» – того, кто может ответить, изменить решение, проявить эмпатию [11, с. 155]. Алгоритмическое доверие оказывается «пустым»: оно не удовлетворяет экзистенциальной потребности в признании и ответственности, и поэтому остается хрупким и легко разрушаемым.

5. Перспективы формирования доверия: психолого-философский подход

Преодоление перечисленных барьеров требует не технологических «доработок», а смены парадигмы проектирования цифрового пространства. Вместо модели «управляемого гражданина» необходима модель «рефлексивной личности», способной осознанно выстраивать отношения с цифровой средой. Первое направление – восстановление субъектности. Цифровой профиль должен быть не пассивным хранилищем данных, а инструментом осознанного управления собственной идентичностью. Это предполагает развитие механизмов, позволяющих пользователю не только отзывать согласие [1, ст. 9], но и видеть полную историю обработки своих данных, понимать логику алгоритмов, влиять на формирование своего «цифрового следа». Такие механизмы восстанавливают чувство контроля и снижают экзистенциальную тревогу. Второе направление – нарративный дизайн. Цифровая среда должна поддерживать способность человека выстраивать связный нарратив собственной жизни. Это означает, что цифровой профиль не должен быть простым набором разрозненных данных; он должен представлять возможность интеграции разных аспектов опыта – биографического, профессионального, социального. Как показывает исследование Ван Стадена и Бидвелла, учет локальных практик смыслопорождения – ключевое условие принятия цифровых систем [10, с. 30]. Третье направление – очеловечивание интерфейса. Доверие требует «другого», поэтому цифровые сервисы должны включать элементы персонализированной коммуникации: не безликие уведомления, а адресные сообщения, возможность диалога с живым оператором, прозрачность критериев принятия решений. Как показывают исследования, наличие понятной обратной связи является одним из главных факторов позитивного восприятия цифрового пространства [6, с. 23; 11, с. 159].

Выводы

Проведенный психолого-философский анализ позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Восприятие цифрового пространства личностью не может быть сведено к оценке удобства или безопасности цифровых сервисов. Это глубинный экзистенциальный процесс, затрагивающий структуры самосознания, телесности, временности и социальности. Цифровое пространство трансформирует базовые человеческие способности – быть, чувствовать, помнить, доверять.

2. Основными барьерами восприятия являются: расщепление идентичности (конфликт между физическим и цифровым «Я»), утрата темпоральной связности (разрушение нарратива собственной жизни) и дефицит доверия как межличностного отношения (невозможность персонализированного ответственного взаимодействия). Эти барьеры имеют не технологическую, а экзистенциальную природу и не могут быть преодолены улучшением интерфейсов или ужесточением правовых норм.

3. Нормативно-правовая база создает необходимые институциональные гарантии. Однако их психологическая эффективность остается низкой из-за недостаточной информированности граждан и отсутствия механизмов, восстанавливающих чувство субъектности и контроля.

4. Зарубежные исследования подтверждают, что доверие к цифровой инфраструктуре напрямую зависит от прозрачности алгоритмов и качества пользовательского опыта. Вместе с тем, культурно-специфические механизмы – локальные представления о приватности, социальные практики доверия, исторический опыт взаимодействия с социальными институтами – играют не менее важную роль.

5. Формирование устойчивого позитивного восприятия цифрового пространства требует перехода от модели «управляемого гражданина» к модели «рефлексивной личности». Это предполагает: восстановление субъектности (прозрачность алгоритмов, контроль над данными, возможность влияния на формирование цифрового профиля); нарративный дизайн (интеграция разных аспектов опыта в связную биографию); очеловечивание интерфейса (персонализированная коммуникация, диалог, прозрачность критериев). Только при соблюдении баланса между эффективностью управления и сохранением личностной автономии, смысловой связности и способности к рефлексивному выбору цифровизация может стать не источником отчуждения, а условием подлинного развития человека.

Список литературы

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» (ред. от 24.06.2025) // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (ч. 1). – Ст. 3451.

2. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (ч. 1). – Ст. 3448.

3. Федеральный закон от 08.06.2020 № 168-ФЗ «О едином федеральном информационном регистре, содержащем сведения о населении Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 2020. – № 24. – Ст. 3738.

4. Минцифры: цифровым профилем на «Госуслугах» пользуются 73,5 млн россиян // Интерфакс. – 2026. – 27 марта. – URL: https://www.interfax.ru/russia/1080482 (дата обращения: 27.07.2026).

5. Блиничкина, Н. Ю. Проблема цифрового неравенства: особенности и пути решения в Российской Федерации // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. – 2025. – № 2. – С. 28–36. – DOI: 10.18101/2304-4446-2025-2-28-36.

6. Dunaev E. Digital State as an Interface of Trust: Youth Experience of Interaction With Russian Online Services : Bachelor's thesis. – Moscow : HSE University, 2026. – URL: https://www.hse.ru/en/edu/vkr/1161334504 (дата обращения: 27.07.2026).

7. Андрианова, Е. В. Цифровой офис или маркетплейс? Как жители регионов России используют Интернет / Е. В. Андрианова, Г. Ф. Ромашкина, М. В. Худякова // Социологические исследования. – 2025. – № 11. – С. 77–92. – DOI: 10.7868/S3034577X25110075.

8. Шаг к упрощению бюрократии? Что такое цифровой профиль гражданина и зачем он нужен // Online47. – 2025. – 21 апреля. – URL: https://online47.ru/2025/04/21/shag-k-uproshcheniyu-byurokratii-chto-takoe-tsifrovoy-profil-grazhdanina-i-zachem-on-nuzhen-213586 (дата обращения: 27.07.2026).

9. Egorov V. Perception of E-government Practices in Russia: The Role of Digital and Political Trust : Master's thesis. – Moscow : HSE University, 2024. – URL: https://www.hse.ru/en/edu/vkr/926348451 (дата обращения: 27.07.2026).

10. Van Staden S., Bidwell N. J. Localised Trust in a Globalised Knot: Designing Information Privacy for Digital-ID // ACM Journal on Computing and Sustainable Societies. – 2024. – Vol. 2, № 1. – Article 5. – P. 1–37. – DOI: 10.1145/3616024.

11. Vidiasova L., Cronemberger F., Kabanov Yu. Drivers of Online Trust in Communication with Regional Government: Evidence from St. Petersburg // Public Administration Issues. – 2024. – № 5. – P. 146–162. – DOI: 10.17323/1999-5431-2024-0-5-146-162.

12. Identity Theft and Societal Acceptability of Electronic Identity in Europe and in the United States // arXiv preprint. – 2024. – arXiv: 2412.07445.

УДК 347.78:004.738.5

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ МУЗЫКАЛЬНОГО КОНТЕНТА КАК ВНЕСУДЕБНЫЙ МЕХАНИЗМ ЗАЩИТЫ АВТОРСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРАВ

Смолин Д.В., аспирант кафедры гражданского и предпринимательского права Казанского инновационного университета имени В. Г. Тимирясова (ИЭУП), г. Казань, Россия

AUTOMATED RECOGNITION OF MUSICAL CONTENT AS AN EXTRAJUDICIAL MECHANISM FOR THE PROTECTION OF COPYRIGHT AND RELATED RIGHTS

Smolin D.V., Postgraduate Student, Department of Civil and Entrepreneurial Law, V.G. Timiryasov Kazan Innovative University (IEML), Kazan, Russia

Аннотация

Массовое распространение музыкального контента через цифровые платформы сделало ручное выявление нарушений несоразмерным объему пользовательских загрузок и обусловило применение систем акустического распознавания по цифровым отпечаткам, сопоставляющих их с идеальными записями. Цель исследования состоит в том, чтобы определить правовую природу определения автоматизированного распознания как частного внесудебного механизма, установлении границ юридического значения машинного совпадения и разработке процедуры, которая одновременно обеспечивает оперативную защиту правообладателя и предупреждает необоснованное ограничение прав пользователя. Научная значимость работы выражается в разграничении технической идентификации фонограммы, юридической квалификации использования музыкального произведения, исполнения и фонограммы, а также предусмотренных законом способов защиты исключительного права. Практическая значимость состоит в формулировании требований к регламентам цифровых платформ и ресурсов. Методологическую основу образуют формально юридический, системно-структурный, функциональный и сравнительно правовой методы, а также анализ законодательства, правовых позиций высших судов, правил Conten ID и исследований в области акустических отпечатков. Установлено, что результат автоматизированного сопоставления подтверждает сходство аудиосигналов, но сам по себе не доказывает принадлежность исключительного права, отсутствие лицензии или применимость ограничения авторского права, а потому не может автоматически приравниваться к установленному нарушению. В данной работе предложена четырёхэтапная модель правомерного реагирования, включающая техническую фиксацию совпадения, проверку объекта и титула, выбор соразмерной временной меры и состязательное рассмотрение возражения с участием человека, для конфликтующих притязаний рекомендовано резервирование дохода вместо его немедленной выплаты одному заявителю. Практическая реализация модели предполагает раздельный учет прав на произведение, исполнение и фонограмму, раскрытие пользователю основания притязания и совпавшего фрагмента, сохранение аудиторского цифрового следа, а также ускоренную независимую проверку решений, ограничивающих доступ к контенту или распоряжение доходом. Эффективность такого механизма должная оцениваться не числом блокировок, а совокупностью скорости пресечения очевидных нарушений, точности распределения доходов, объяснимости решения, доступности обжалования и сохранности проверяемого цифрового следа.

Ключевые слова: авторское право, смежные права, музыкальное произведение, фонограмма, цифровая платформа, акустический отпечаток: Content ID, внесудебная защита, автоматизированное решение, оспаривание

Abstract

The massive distribution of music content through digital platforms has made manual detection of violations disproportionate to the volume of user downloads and led to the use of acoustic recognition systems based on digital fingerprints, matching them with ideal recordings. The purpose of the study is to determine the legal nature of the definition of automated recognition as a private non-judicial mechanism, to establish the boundaries of the legal meaning of machine matching and to develop a procedure that simultaneously ensures the operational protection of the copyright holder and prevents unjustified restriction of user rights. The scientific significance of the work is expressed in the differentiation of the technical identification of a phonogram, the legal qualification of the use of a musical work, performance and phonogram, as well as the ways provided for by law to protect the exclusive right. The practical significance lies in the formulation of requirements for the regulations of digital platforms and resources. The methodological basis is formed by formal legal, system-structural, functional and comparative legal methods, as well as an analysis of legislation, the legal positions of higher courts, the rules of Conten ID and research in the field of acoustic imprints. It has been established that the result of the automated comparison confirms the similarity of the audio signals, but does not in itself prove the ownership of the exclusive right, the absence of a license, or the applicability of copyright restrictions, and therefore cannot be automatically equated with an established violation. In this paper, a four-stage model of legitimate response is proposed, including technical identification of the match, verification of the object and title, selection of a proportionate temporary measure and adversarial consideration of the objection with the participation of a person. For conflicting claims, it is recommended to reserve income instead of its immediate payment to one applicant. The practical implementation of the model involves separate accounting of the rights to the work, performance and phonogram, disclosure to the user of the basis of the claim and the matched fragment, preservation of the digital audit trail, as well as accelerated independent verification of decisions restricting access to content or disposal of income. The effectiveness of such a mechanism should be assessed not by the number of blockages, but by the combination of the speed of suppression of obvious violations, the accuracy of income distribution, the explicitness of the decision, the accessibility of the appeal and the safety of the digital footprint being checked.

Keywords: copyright; related rights; musical work; phonogram; digital platform; acoustic imprint: Content ID; out-of-court protection, automated decision; challenge

Цифровые платформы обеспечивают доступ к контенту и одновременно создают инфраструктуру его массового пользовательского распространения. Один аудиофайл может быть воспроизведён, включён в видеоролик или доведён до всеобщего сведения мгновенно. Исключительное право позволяет правообладателю использовать результат интеллектуальной деятельности и запрещать его использовать другим лицам [1], однако судебное рассмотрение каждой загрузки несоразмерно скорости цифрового оборота. По этой причине платформы применяют автоматизированное распознавание музыки. В российской цивилистической литературе гражданско-правовые вопросы использования цифровых платформ исследуется прежде всего через отношения правообладателя, пользователя и владельца ресурса. Н.В. Бузова отмечает отсутствие чёткого законодательного разграничения платформ и онлайн-сервисов, осложняющее определение их ответственности [2, с. 133-142]. М.А. Гордеева и А.А. Новикова связывают трудности охраны контента с сетевым характером среды и изменением пользовательских практик [3, с. 42-51]. Эти работы раскрывают общий контекст, но не определяют юридическое значение акустического совпадения.

П. Кано и соавторы описывают аудиофингерпринтинг как идентификацию записи по компактному признаковому описанию [4, p. 271-284], а С. Чанг и соавторы описали нейросетейвой поиск коротких и искаженных фрагментов [5, p. 3025-3029]. М. Перель и Н. Элкин-Корен связывают допустпость алгоритмического правоприменения с прозрачностью и надлежа-

щей процедурой [6, p. 473-533]. Эмпирические данные К. Эриксона и М. Кречмера выявляют расхождение между заявленными основаниями политики удаления и фактической практикой [7, 75-89].

Для целей данной статьи необходимо раскрыть понятие аудиофингерпринт. Последнее – это компактная характеристика записи, извлекаемая из сигнала и устойчивая к распространённым преобразованиями. Такая систем создает отпечаток эталона, индексирует его и сопоставляет с признаками загрузки. Одним из критериев качества записи служат устойчивость к шуму и кодированию, различимость записей и скорость. [4 p. 271-284]. В настоящий момент нейросетевые модели улучшают поиск коротких фрагментов, изменённых шумом или временным сдвигом [5, p. 3025-3029]. Однако рост обнаружительной способности не расширяет юридическое значение результата автоматизированного распознавания алгоритма, он оценивает сходство сигналов, но не устанавливает правообладателя, лицензию или допустимость использования.

Временами корректное совпадение зависит от эталонной базы. Запись может быть загружена ненадлежащим лицом, включать чужой фрагмент либо сопровождаться ограниченным по сроку или территории полномочием. Полная копия, короткий сэмпл, ремикс и новое исполнение также имеют разное значение. Кавер способен не совпадать с фонограммой, хотя использует изначальное произведение. Следовательно, распознавание выполняет доказательную, но не квалифицирующую функцию, фиксирует признак и инициирует проверку. Он формирует и фиксирует наличие сходства локализует фрагмент и позволяет сохранить сведения о времени и версии алгоритма. Идентификация каждого объекта, документов о цепочке прав, территории и сроке лицензии вызывает и выполняет большой спектр идентификации. Чем короче или сильнее преобразован фрагмент, тем выше значение ручной проверки.

Один музыкальный файл способен одновременно выражать музыкальное произведение, исполнение и фонограмму. Исключительная права на эти объекты самостоятельны, а их обладатели могут не совпадать. Потому карточка притязания должна указывать на обобщенное обозначение «музыка», а конкретный объект, правообладателя и способ использования, который заявитель считает неправомерным. После вступления в силу изменений 2026 года п. 1.1. статьи 1252 Гражданского кодекса Российской Федерации (далее – ГК РФ) прямо связывает одно нарушение исключительного права с незаконным использованием одного результата одним способом [1].

Автоматическая блокировка или монетезация не является самостоятельным способом защиты, прямо названным в ГК РФ. В зависимости от последствий она представляет собой техническую реализацию требования о пресечении нарушения, договорную меру управления контентом либо временную меру внутреннего регламента платформы. Её внесудебный характер не отменяет обязанности учитывать существо права, последствия вмешательства и запрет злоупотребления правом. Платформа (точнее – ее оператор) не устанавливает нарушение, опираясь на факт вступления в силу судебного акта, а принимает частное решение, которое должно оставаться проверяемым и обратимым.

Статья 1253.1 ГК РФ связывает ответственность информационного посредника с его знанием о неправомерности использования и своевременностью необходимых мер. Конституционный суд Российской Федерации в Постановлении от 16 июня 2026 года № 39-П указал применительно к маркетплейсу, что статус посредника определяется по каждому виду деятельности, а повторное использование тем же контрагентом тех же объектов после ранее принятых мер исключает ссылку на отсутствие информации о нарушении, выявленное толкование подлежит общему применению по истечении трёх месяцев со дня провозглашения [8]. Тем не менее дело касалось оборота товаров, сформулированный критерий осведомленности может учитываться при оценке поведения платформы при повторных загрузках контента. При этом знание о совпадении и знание о неправомерности использования соответствующего объекта авторских или смежных прав не должны механически отождествляться.

На первом этапе система фиксирует совпадение и формирует неизменяемую запись, такие как идентификатор загрузки, совпадение временного фрагмента, дату и версию выгрузки. Пользователь получает уведомление до применения необратимой меры. Технический журнал должен позволять воспроизвести причину срабатывания без раскрытия исходного кода или сведений, создающих риск обхода системы.

На втором этапе определяются объект и правовой титул. Заявитель указывает, предъявляет ли он права на произведение, исполнение или фонограмму, и подтверждает цепочку договоров либо иной источник полномочия. Для агрегаторов и дистрибьюторов существенны территория, срок, виды использования и наличие прав администрировать притязания от имени правообладателя. При дублирующих эталонах система не должна выбирать заявителя только по дате загрузки записи в базу.

На третьем этапе выбирается временная мера по принципу наименьшего необходимого вмешательства. Правила YouTube предусматривают для совпадений Conten ID блокирование, монетизацию или отслеживание в зависимости от политики правообладателя [9]. Однако выбор заявителя не должен автоматически предопределять наиболее жёсткий результат. Для полного совпадения официально не выпущенной записи может быть оправдано временное ограничение доступа, например для спорного короткого фрагмента приходит уведомление и сохранение дохода. Если обе стороны претендуют на монетизацию, доход разумно резервировать до окончания спора, что уже применяется в платформенной практике [10].

На четвёртом этапе обеспечивается состязательное рассмотрение возражения. Пользователь должен видеть наименование заявителя, объект прав, совпавший фрагмент, применённую меру и доступные основания возражения. Возражение передается не алгоритму, вынесшему первоначальное решение, а специалисту, имеющему доступ к документам обеих сторон. Решение должно содержать краткие мотивы, срок дальнейшего обжалования и последствия бездействия.

Требования прозрачности и надлежащей процедуры особенно важны потому, что частные алгоритмы фактически распределяют доступ к аудитории и доходу. М. Перель и Н. Элкин-Корен связывают подотчётность алгоритмического правоприменения с прозрачность, процедурными гарантиями и возможностью влияния адресата на решение [6, p. 473–533]. Эмпирическое исследование К. Эриксона и М. Кречмера также показывает, что практика удаления пользовательского контента не всегда полностью соответствует декларируемым основаниям и требует оценки фактических результатов [7, p 75-89], для российских платформ эти наблюдения значимы как описание риска, что может быть учтено при совершенствовнаии законодательства.

Регламент должен различать ложное техническое совпадение и неподтверждённое правовое притязание. В первом случае ошибочен вывод о сходстве, во втором совпадение верно, но заявитель не доказал полномочие либо пользователь подтвердил законность использования. Для каждой категории необходима отдельная статистика, доля отменённых совпадений, число отозванных притязаний, повторные претензии к одному объекты и т.д.

Особую опасность создают конфликтующие цепочки прав, одновременные лицензии на разные территории, досрочно прекращенные договоры, несколько дистрибьюторов или спор об объеме переданных прав. В таких случаях платформа не должна разрешать материально-правовой спор в пользу первого заявителя. Допустимы временное резервирование дохода, предложение сторонами представить документы, ограниченный срок внутреннего рассмотрения и прекращение меры, если ни одна сторона не подтверждает приоритет. Блокировка доступа оправдана лишь при высокой вероятности продолжающегося нарушения и риске невосполнимого вреда.

Для аудита должны сохраняться исходное уведомление, документы о полномочиях, версии эталона и алгоритма, действия сторон, сроки и мотивировка решений. Доступ

к таким сведениям ограничивается целями спора и требованиями о персональных данных и коммерческой тайне. Внешняя отчетность может быть обезличенной, но должна показывать не только количество заблокированных материалов, а точность, скорость, число возражений и результаты пересмотра. Это позволяет отличить эффективную защиту от простого увеличение числа автоматических ограничений.

В заключение отметим, что автоматизированное распознавание музыкального контента следует квалифицировать как технологический элемент частного внесудебного механизма, а не как самостоятельное установление нарушения. Машинное совпадение способно подтвердить сходство сигналов и инициировать проверку, но не заменяет идентификацию охраняемого объекта, проверку правового титула, лицензии и допустимости использования. Юридически значимым является не только качество модели, но и процедура преобразования её результата в блокировку, монетизацию и иную меру. Правомерная модель включает техническую фиксацию, проверку по объекту прав, соразмерную обратимую меру и состязательное рассмотрение возражения с участием человека. При конфликтующих притязаниях приоритетно резервирование дохода, а не немедленная выплата одному заявителю. Регламент платформы должен раскрывать основание притязания и совпавший фрагмент, устанавливать сроки и мотивировку пересмотра, предупреждать повторные недобросовестные заявления и сохранять аудиторский цифровой след. Предложенная конструкция соединяет скорость автоматизации с требованиями правовой определённости и может использоваться при разработке внутренних правил российских цифровых платформ и дистрибьюторов.

Список литературы

1. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 № 230-ФЗ (ред. от 23.07.2025, с изм. и доп., вступ. в силу с 04.01.2026) // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64629/ (дата обращения: 15.08.2026).

2. Бузова Н. В. Использование объектов авторского права и смежных прав на цифровых платформах и сервисах // Труды по интеллектуальной собственности. 2024. Т. 51, № 4. С. 133-142. DOI: https://doi.org/10.17323/tis.2024.23977.

3. Гордеева М. А., Новикова А. А. Незащищенность контента в цифровой среде: поиски решения // Труды по интеллектуальной собственности. 2022. Т. 42, № 3. С. 42-51. DOI: https://doi.org/10.17323/tis.2022.15933.

4. Cano P., Batlle E., Kalker T., Haitsma J. A Review of Audio Fingerprinting // Journal of VLSI Signal Processing Systems for Signal, Image and Video Technology. 2005. Vol. 41. P. 271-284. DOI: https://doi.org/10.1007/s11265-005-4151-3.

5. Chang S., Lee D., Park J., Lim H., Lee K., Ko K., Han Y. Neural Audio Fingerprint for High-Specific Audio Retrieval Based on Contrastive Learning // 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Toronto, 2021. P. 3025-3029. DOI: https://doi.org/10.1109/ICASSP39728.2021.9414337.

6. Perel M., Elkin-Koren N. Accountability in Algorithmic Copyright Enforcement // Stanford Technology Law Review. 2016. Vol. 19. P. 473-533. URL: https://law.stanford.edu/wp-content/uploads/2016/10/Accountability-in-Algorithmic-Copyright-Enforcement.pdf (дата обращения: 15.08.2026).

7. Erickson K., Kretschmer M. «This Video is Unavailable»: Analyzing Copyright Takedown of User-Generated Content on YouTube // Journal of Intellectual Property, Information Technology and E-Commerce Law. 2018. Vol. 9, no. 1. P. 75-89. URL: https://www.jipitec.eu/jipitec/article/view/218 (дата обращения: 15.08.2026).

8. Постановление Конституционного Суда Российской Федерации от 16.06.2026 № 39-П // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202606170001 (дата обращения: 15.08.2026).

9. How Content ID works // YouTube Help. URL: https://support.google.com/youtube/answer/2797370?hl=en. (дата обращения: 15.08.2026).

10. Monetization during Content ID disputes // YouTube Help. URL: https://support.google.com/youtube/answer/7000961?hl=en. (дата обращения: 15.08.2026).

УДК 130.2:004.8

ЦИФРОВОЙ КОД ТРАДИЦИИ: ФИЛОСОФИЯ КУЛЬТУРНОГО СУВЕРЕНИТЕТА В ЭПОХУ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Суминова Т.Н., д.филос.н., директор Научно-издательского центра, профессор кафедры педагогической теории и практики социально-культурной деятельности Московского государственного института культуры, г. Химки, Россия;
ORCID: 0000-0002-1753-7686

THE DIGITAL CODE OF TRADITION: THE PHILOSOPHY OF CULTURAL SOVEREIGNTY IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Suminova T.N., DSc in Philosophy, Scientific Publishing Center Director, Professor at the Department of Pedagogical Theory and Practice of Social and Cultural Activity, Moscow State Institute of Culture, Khimki, Russia;
ORCID: 0000-0002-1753-7686

Аннотация

В статье рассматривается проблема сохранения культурного суверенитета в условиях экспансии искусственного интеллекта, когда алгоритмы, обученные на глобальных датасетах, активно участвуют в формировании ценностной повестки и культурных смыслов. Актуальность исследования обусловлена переходом к BANI-миру, характеризующемуся хрупкостью институциональных структур и непостижимостью происходящего, что делает традиционные механизмы трансляции ценностей недостаточно эффективными. Обосновывается необходимость перевода устойчивых ценностных паттернов в формат, операциональный для ИИ-систем, как условия их присутствия в цифровой среде.

Предлагается и вводится в научный оборот понятие «цифровой код традиции», определяемое как система смысловых паттернов, эстетических принципов и этических констант, закодированных в языке, образе и структуре текстов произведений культуры, позволяющая ИИ-системам генерировать новый контент, сохраняющий онтологическую связь с первоисточником. Представлена трехуровневая модель цифрового кода традиции, состоящая из синтаксического (формальные паттерны), семантического (смысловое ядро) и прагматического (механизмы эмоционального воздействия) уровней, что позволяет дифференцировать области алгоритмизации и области сохранения присутствия человека.

Доказывается, что алгоритмизации в полной мере поддается лишь синтаксический уровень, тогда как семантика требует человеческой экспертизы, и прагматика остается исключительной прерогативой человека. Анализируются риски некритической алгоритмизации культурных смыслов: симуляция традиции, ценностная унификация и девальвация авторства. Определяются пределы алгоритмизации, связанные с этическим выбором, эмоциональным переживанием и личной ответственностью.

Обосновывается трансформация арт-менеджмента в цифровую эпоху: арт-менеджер перестает быть организатором культурных событий и обретает новую идентичность – кре-

ативного продюсера ценностно-смысловой матрицы, управляющего цифровым кодом традиции. Выделяются три ключевые функции такого специалиста: смысловое архитекторство, культурный перевод и технологическое посредничество.

Утверждается, что культурный суверенитет в эпоху ИИ требует сознательного управления применением технологий и подготовки арт-менеджеров нового типа, владеющих компетенциями в области семиотики, управления данными и постановки задач для ИИ-систем. Практическая значимость исследования состоит в создании философской и методологической основы для обновления образовательных стандартов в сфере арт-менеджмента и культурной политики.

Ключевые слова: цифровой код традиции, культурный суверенитет, искусственный интеллект, креативный продюсер, алгоритмизация культуры, арт-менеджмент, ценностно-смысловая матрица

Abstract

This article examines the problem of preserving cultural sovereignty in the context of the expansion of artificial intelligence, where algorithms trained on global datasets actively participate in shaping the value agenda and cultural meanings. The relevance of this research stems from the transition to a BANI world, characterized by the fragility of institutional structures and the incomprehensibility of events, which makes traditional mechanisms for transmitting values ineffective. The need to translate stable value patterns into a format operational for AI systems is substantiated as a prerequisite for their presence in the digital environment.

The concept of a «digital code of tradition» is proposed and introduced into scientific circulation. It is defined as a system of semantic patterns, aesthetic principles, and ethical constants encoded in the language, image, and structure of cultural texts. This allows AI systems to generate new content that maintains an ontological connection with the original source. A three-level model of the digital code of tradition is presented, consisting of syntactic (formal patterns), semantic (semantic core), and pragmatic (mechanisms of emotional impact) levels, which makes it possible to differentiate between areas of algorithmization and areas where human presence is preserved.

It is demonstrated that only the syntactic level is fully amenable to algorithmization, while semantics requires human expertise, and pragmatics remains the exclusive prerogative of humans. The risks of uncritical algorithmization of cultural meanings are analyzed: the simulation of tradition, value unification, and the devaluation of authorship. The limits of algorithmization are identified, related to ethical choice, emotional experience, and personal responsibility.

The transformation of arts management in the digital age is substantiated: the arts manager ceases to be an organizer of cultural events and acquires a new identity – that of a creative producer of value-semantic matrix, managing the digital code of tradition. Three key functions of such a specialist are identified: semantic architecture, cultural translation, and technological mediation.

It is claimed that cultural sovereignty in the era of AI requires conscious management of the use of technology and the training of a new type of arts managers who possess competencies in semiotics, data management, and setting tasks for AI systems. The practical significance of the research lies in creating a philosophical and methodological foundation for updating educational standards in the field of arts management and cultural policy.

Keywords: digital code of tradition, cultural sovereignty, artificial intelligence, creative producer, algorithmization of culture, arts management, value-semantic matrix

Введение

Современный этап общественного развития характеризуется переходом к BANI-миру, в котором прежние институциональные и смысловые основы утрачивают устойчивость. В этих условиях культура становится одной из немногих сфер, способной к воспроизводству

идентичности. Однако экспансия искусственного интеллекта (ИИ) создает новый вызов: алгоритмы, обученные на глобальных датасетах, нивелируют локальные культурные особенности, навязывая унифицированную эстетику и систему ценностей.

Концепция BANI-мира, предложенная Дж. Кашио и пришедшая на смену модели VUCA [1], фиксирует качественно иной уровень турбулентности, характеризующийся разрывом причинно-следственных связей, фоновой тревожностью и непостижимостью происходящего. Это делает BANI-модель эвристически ценной для анализа сохранения культурной идентичности в эпоху ИИ [2].

Современная эпоха ИИ отражает онтологический переход: ИИ выступает агентом культурного производства – генератором образов, нарративов, музыкальных форм и смысловых конструкций. Алгоритмы участвуют в формировании ценностной повестки, предлагая готовые эстетические и этические решения. Традиционные культурные коды, не переведенные на язык ИИ-систем, оказываются вне цифрового пространства.

Ключевая проблема: может ли ИИ стать инструментом сохранения и трансляции традиционных ценностей, а не их размывания? Этот вопрос неизбежно приводит к категории «культурного суверенитета», которая в «Основах государственной культурной политики» определяется как «совокупность социально-культурных факторов, позволяющих народу и государству формировать свою идентичность, избегать социально-психологической и культурной зависимости от внешнего влияния, быть защищенными от деструктивного идеологического и информационного воздействия, сохранять историческую память, придерживаться традиционных российских духовно-нравственных ценностей» [3]. Однако в цифровой среде данное понятие приобретает новые измерения.

Цель исследования – разработка и обоснование концепции «цифрового кода традиции» как философской и методологической основы культурного суверенитета в эпоху ИИ. Для достижения этой цели решаются следующие задачи: 1) выявить сущность цифрового кода традиции и определить его структуру в контексте культурного суверенитета; 2) выявить риски и пределы алгоритмизации культурных смыслов; 3) обосновать новую роль арт-менеджера как продюсера ценностно-смысловой матрицы, управляющего этим кодом.

Методика

Методологическую основу междисциплинарного исследования составляют философская культурология, семиотика и теория менеджмента. Семиотический подход позволяет представить культуру как многоуровневую знаковую информационную систему [4], а традиционные ценности – как устойчивые смысловые паттерны, значимые для кодирования и трансляции в цифровой среде.

Теоретической рамкой исследования выступает концепция BANI-мира как операциональная модель, фиксирующая хрупкость институтов (Brittle), тревожность (Anxious), утрату линейных причинно-следственных связей (Nonlinear) и непостижимость происходящего (Incomprehensible). BANI-модель, в отличие от VUCA, акцентирует внутренние состояния систем и субъектов, что важно для анализа культурной идентичности и ценностных оснований в условиях цифровой трансформации.

Ключевые категории – «цифровой код», «культурный суверенитет», «ценностно-смысловая матрица» – рассматриваются через призму философской герменевтики и постнеклассической рациональности. Это позволяет представить цифровизацию культуры как онтологический сдвиг.

Основной метод исследования – концептуальное моделирование, применяемое для построения трехуровневой архитектуры цифрового кода традиции (синтаксический, семантический, прагматический уровни). Каждый уровень анализируется с точки зрения алгоритмизации и ответственности человека как субъекта деятельности (автора, арт-менеджера, продюсера, реципиента).

Для анализа трансформации управленческих практик использован метод функционального анализа, позволяющий выявить новые компетенции арт-менеджера как креативного продюсера [5]. Источниковую базу составляют труды по семиотике (Ю.М. Лотман [6], У. Эко [7]), исследования по цифровой трансформации креативных индустрий и отраслевые документы.

Основная часть

Цифровой код традиции – это система устойчивых смысловых паттернов, эстетических принципов и этических констант, закодированных в языке, образе, ритме и структуре текста произведения культуры, которые, будучи оцифрованными и алгоритмизированными, позволяют ИИ-системам генерировать новый контент, сохраняющий онтологическую связь с первоисточником. Это не оцифровка фольклора или музейных экспонатов, а «культурный движок» – система правил и паттернов, на основе которой алгоритмы производят смыслы, укорененные в национальной традиции.

Определение базируется на семиотике Ю.М. Лотмана, рассматривавшего культуру как коллективный интеллект, способный к самоописанию и трансляции кодов. В цифровую эпоху культурный код становится операциональной структурой, доступной для машинного чтения и воспроизведения.

Культурный суверенитет понимается нами как способность общества воспроизводить, транслировать и защищать собственную ценностно-смысловую матрицу в любых технологических средах. Это не статичная данность, а динамическая способность к смыслопорождению, трансляции и защите идентичности в условиях конкуренции глобальных культурных кодов.

В цифровую эпоху культурный суверенитет приобретает новые измерения: технологическую опосредованность, профессионализацию (переход на уровень арт-менеджеров и культурных инженеров) и связь с «онтологической безопасностью» – способностью сохранять идентичность перед технологическими изменениями.

В этом контексте понятие «цифрового кода традиции» выступает инструментом реализации культурного суверенитета в алгоритмической среде. Его создание – способ «перевода» традиционных ценностей на язык цифровой эпохи, обеспечения их присутствия в цифровом пространстве. Без этого перевода традиции уступают место обезличенным алгоритмическим конструкциям.

Для операционализации понятия «цифровой код традиции» предлагается трехуровневая модель:

– синтаксический уровень – формальные паттерны: ритмы, орнаменты, композиционные принципы, цветовые гаммы, архитектурные пропорции. Данный уровень наиболее доступен для алгоритмизации, однако, это лишь «грамматика» культурного кода;

– семантический уровень – система базовых смыслов и ценностных оппозиций («добро – зло», «сакральное – профанное», «свое – чужое», «земля – небо»). Здесь культура отвечает на экзистенциальные вопросы о мире и месте человека. Семантика традиции формировалась веками и закреплена в мифах, религиозных текстах, фольклоре, обрядовых практиках. Этот уровень не поддается алгоритмизации: смыслы требуют понимания контекста, истории, ценностных установок носителей культуры;

– прагматический уровень – способы воздействия на сознание реципиента: механизмы сопереживания, катарсиса, формирования коллективной памяти и идентичности. Именно здесь культура выполняет свою главную функцию – сопереживает, событийствует с человеком. Этот уровень наименее алгоритмизируем: алгоритм может имитировать эмоциональную окраску, но не способен к подлинному сопереживанию или этическому выбору.

Таким образом, синтаксис открыт для алгоритмизации, семантика требует экспертизы человека, прагматика остается прерогативой человека. Граница между уровнями становится

главным вызовом для культурного суверенитета. Осознание этой границы позволяет перейти от констатации структуры к анализу рисков и пределов алгоритмизация культурных смыслов.

Применительно к культуре алгоритмизация связана с принципиальными ограничениями, игнорирование которых создает риски для культурного суверенитета.

Первый риск – симуляция традиции. Алгоритм, обученный на формальных паттернах, генерирует вариации, внешне напоминающие традиционные образцы, но лишенные смыслового ядра. Массовое тиражирование симулякров подменяет культурную память имитацией.

Второй риск – ценностная унификация. Глобальные датасеты отражают усредненную, часто западную картину мира. Локальные смыслы оказываются либо проигнорированными, либо представленными через чужую ценностную оптику. Возникает «алгоритмическая колонизация» – навязывание чужой эстетики, этики и нарративов через технологическую инфраструктуру.

Третий риск – девальвация авторства. Если ИИ генерирует тексты, изображения, музыку, вопрос об авторстве перестает быть риторическим. Алгоритм не несет этической ответственности за производимое. Человек, делегируя алгоритму смыслопорождение, рискует утратить способность к самостоятельному творчеству.

Пределы алгоритмизации культурных смыслов – там, где начинается этический выбор, эмоциональное переживание, личная ответственность. ИИ может воспроизводить формальные признаки традиции, но не обладает механизмами ее осмысления. Задача культурной политики – не отказ от ИИ, а определение границ его применения. Но кто должен определять эти границы и управлять цифровым кодом традиции?

В цифровую эпоху арт-менеджмент трансформируется из сферы организации событий в сферу продюсирования ценностно-смысловой матрицы. Традиционная модель, ориентированная на «продажу билетов», утрачивает значимость. На смену приходит модель культурного инжиниринга, где ключевая компетенция – работа с ценностно-смысловой матрицей как активом, подлежащим оцифровке и масштабированию.

Арт-менеджер обретает новую идентичность – креативного продюсера ценностно-смысловой матрицы. Его задача – собирать, интерпретировать, перекодировать и масштабировать традиционные ценности через цифровые каналы. Эта трансформация предполагает три функции:

– смыслового архитектора – определяет ценностное ядро цифрового продукта, выстраивает его онтологическую связь с современностью на уровне семантики, не поддающемся полной алгоритмизации;

– переводчика между культурами – адаптирует национальный культурный код для международной аудитории без потери смыслового ядра, создавая новые формы (VR-выставки, нейроарт, игровые вселенные, цифровые двойники памятников);

– технологического посредника – соединяет творческую команду и IT-разработчиков, формулирует задачи на языке культурных смыслов, защищает «непереводимый остаток» – то, к чему алгоритм не должен иметь отношения.

Таким образом, арт-менеджер в новой парадигме – это креативный продюсер, проектирующий культурную реальность в цифровой среде. Его ответственность – чтобы цифровой код традиции служил укреплению культурного суверенитета.

Выводы

Цифровой код традиции – операциональная структура, переводящая смысловые паттерны и ценности в формат, доступный для алгоритмической обработки. Трехуровневая модель цифрового кода традиции (синтаксический, семантический, прагматический) свидетельствует: алгоритмизации поддается лишь «грамматика» культуры; смысловое ядро и эмоциональное воздействие остаются за человеком. Осознанное проведение границы между этими уровнями – условие сохранения культурного суверенитета.

Алгоритмизация культурных смыслов связана с рисками симуляции традиции, ценностной унификации и девальвации авторства. Пределы алгоритмизации – этический выбор, эмоциональное переживание, личная ответственность. Задача культурной политики – определение границ применения ИИ на каждом из трех уровней цифрового кода традиции.

В цифровую эпоху арт-менеджмент трансформируется в продюсирование ценностно-смысловой матрицы. Арт-менеджер становится креативным продюсером, управляющим цифровым кодом традиции, с функциями смыслового архитектора, культурного переводчика и технологического посредника. Без таких специалистов управление кодом переходит к внешним платформам и алгоритмам.

Культурный суверенитет в эпоху ИИ – способность общества к самовоспроизводству ценностно-смысловой матрицы в любых технологических средах. Его реализация требует профессионализации управления культурными кодами, технологической независимости и сохранения онтологической безопасности.

Представленная концепция создает философскую и методологическую основу для реализации культурной политики и образовательных стандартов в цифровую эпоху. Ее практическая значимость – в обосновании подготовки арт-менеджеров как креативных продюсеров, владеющих компетенциями в области семиотики, управления данными и постановки задач для ИИ.

Таким образом, отсутствие цифровой репрезентации традиции приводит к ее маргинализации, а оцифровка без философского и управленческого сопровождения – к смысловой деформации. Концепция «цифрового кода традиции» предлагает способ разрешения этого противоречия через ценностно-ориентированное управление культурным наследием в эпоху ИИ.

Список литературы

1. Cascio, J. Facing the Age of Chaos / J. Cascio // Medium: [сайт]. – 2020. – URL: medium.com/@cascio/facing-the-age-of-chaos-b00687b1f51d (дата обращения: 17.08.2026). – Текст: электронный.

2. Kruse, K. Forget VUCA: Why BANI is The New Framework For Today's World / K. Kruse // Forbes: [сайт]. – 2025. – 3 February. – URL: www.forbes.com/sites/kevinkruse/2025/02/03/forget-vuca-bani-is-the-new-framework-world/ (дата обращения: 17.08.2026). – Текст: электронный.

3. Указ Президента Российской Федерации от 24.12.2014 г. № 808 «Об утверждении Основ государственной культурной политики» (В ред. Указов Президента Российской Федерации от 25.01.2023 № 35, от 17.07.2025 № 487) URL: www.kremlin.ru/acts/bank/39208 (дата обращения: 18.08.2026). – Текст: электронный.

4. Суминова, Т. Н. Художественная культура как информационная система (мировоззренческие и теоретико-методологические основания) / Т. Н. Суминова. – Москва : Академический проект, 2006. – 383 с.

5. Суминова, Т. Н. Креативный продюсер как агент и субъект ценностно-ориентированной экономики / Т. Н. Суминова // Вестник Московского государственного университета культуры и искусства. – 2025. – № 3. – С. 77–90.

6. Лотман, Ю. М. Семиосфера / Ю. М. Лотман. – Санкт-Петербург: Искусство-СПБ, 2001. – 703 с.: ил.

7. Eco, U. La struttura assente: introduzione alla ricerca semiologica / U. Eco. – Milan: Bompiani, 1968. – 431 p.: 2 f. ill. – (Nuovi saggi italiani).

УДК 78.071.5:004.8

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ЗВУКОРЕЖИССЁРА В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АУДИОПРОИЗВОДСТВО

Терещенко А.Р., аспирант ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

TRANSFORMATION OF THE PROFESSIONAL COMPETENCIES OF A SOUND ENGINEER IN THE CONTEXT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION INTO AUDIO PRODUCTION

Tereshchenko A.R., postgraduate student of the Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена исследованию концептуальных и практических изменений, которые технологии искусственного интеллекта привносят в профессиональную деятельность звукорежиссёра. Предложена оригинальная трёхуровневая модель операционального потенциала ИИ в аудиопроизводстве, охватывающая функции автоматизации, аналитики и генерации звукового материала. На основе данной модели сформулирована авторская типология форм взаимодействия звукорежиссёра с нейросетью: инструментальная, диалогическая, делегирующая и генеративно-ансамблевая. Каждый из выделенных типов предъявляет специфические требования к компетентностному профилю специалиста. Обосновывается необходимость развития у звукорежиссёра нового вида профессионального мышления – гибридного, интегрирующего художественно-эстетическое восприятие с технологической грамотностью в области интеллектуальных алгоритмов. Анализируются этические аспекты применения ИИ в звукорежиссуре, включая проблему авторства и риск унификации звукового языка. Предлагается концепция дистрибутивного авторства как теоретический инструмент для описания совместного творчества человека и машины. Формулируются практические рекомендации для профессионального образования в области звукорежиссуры.

Ключевые слова: искусственный интеллект, звукорежиссура, профессиональные компетенции, нейронные сети, творческий процесс, саунд-дизайн, гибридное мышление, авторство, цифровая трансформация, аудиопроизводство

Abstract

The article is devoted to the study of conceptual and practical changes that artificial intelligence technologies bring to the professional activities of a sound engineer. An original three-level model of the operational potential of AI in audio production is proposed, covering the functions of automation, analytics, and audio material generation. Based on this model, the author's typology of forms of interaction between the sound engineer and a neural network is formulated: instrumental, dialogical, delegating, and generative-ensemble. Each of the identified types imposes specific requirements on the competency profile of the specialist . The necessity of developing a new type of professional thinking in sound engineering – hybrid thinking, which integrates artistic-aesthetic perception with technological literacy in the field of intelligent algorithms – is substantiated. Ethical aspects of using AI in sound engineering are analyzed, including the problem of authorship and the risk of sound language unification. The concept of distributive authorship is proposed as a theoretical tool for describing human-machine co-creation. Practical recommendations for professional education in the field of sound engineering are formulated.

Keywords: artificial intelligence, sound engineering, professional competencies, neural networks, creative process, sound design, hybrid thinking, authorship, digital transformation, audio production

Введение

Парадигмальные сдвиги, которые переживает современное аудиопроизводство под влиянием технологий искусственного интеллекта, не могут быть сведены к простому расширению инструментального арсенала звукорежиссёра. Речь идёт о качественно иной ситуации: о постепенном переопределении самой природы профессиональной деятельности, её ценностных оснований, содержания и границ. Алгоритмы, ещё недавно воспринимавшиеся как сугубо технические вспомогательные средства, сегодня берут на себя функции, прежде считавшиеся исключительно человеческой прерогативой: распознавание и генерация звуковых текстур, эмоциональная интерпретация акустической среды, создание музыкальных структур от фрагмента до законченного произведения. Данное обстоятельство порождает совокупность вопросов, значимых одновременно в теоретическом и сугубо практическом отношении. Каким образом меняется структура профессиональной компетентности звукорежиссёра? Что остаётся неотчуждаемым достоянием человека в тех процессах, которые прежде целиком определялись его художественной интуицией и накопленным опытом? Как следует переосмыслить образовательные программы, претендующие на подготовку конкурентоспособного специалиста в ИИ-интегрированной среде? Наконец, кто является автором произведения, в создании которого наряду с человеком участвовал алгоритм?

Следует признать, что отечественная исследовательская традиция пока уделяет данным вопросам недостаточное внимание. Большинство публикаций в данной области либо носит описательный характер – фиксирует наличие тех или иных ИИ-инструментов и перечисляет их возможности, либо сосредотачивается на узкоспециальных технических аспектах, оставляя за рамками анализа принципиальные гуманитарные измерения проблемы. Между тем именно гуманитарная рефлексия над происходящим представляется наиболее актуальной и недостаточно разработанной.

Настоящая статья ставит своей задачей восполнить этот пробел: предложить аналитическую модель трансформации профессиональных компетенций звукорежиссёра и сформулировать концептуальный аппарат, пригодный для научного описания человеко-машинного взаимодействия в творческой аудиосфере. Исследование строится на сопоставительном анализе традиционной практики звукорежиссуры и ИИ-интегрированных рабочих процессов, а также на обобщении теоретических и прикладных разработок в данной области.

1. Операциональный потенциал искусственного интеллекта в звукорежиссуре: попытка систематизации

Чтобы содержательно обсуждать профессиональную трансформацию звукорежиссёра, необходимо прежде всего чётко представлять диапазон задач, которые современный ИИ способен решать в области аудиопроизводства. Анализ существующих нейросетевых платформ и программных решений позволяет выделить три принципиально различных по своей природе уровня операционального потенциала ИИ.

Первый уровень – автоматизирующий. На этом уровне ИИ берёт на себя операции, традиционно требовавшие кропотливого ручного труда: шумоподавление, устранение щелчков и посторонних призвуков, выравнивание уровней громкости, синхронизация многодорожечных записей, автоматическая балансировка частотного спектра. Системы класса iZotope RX или Adobe Sensei решают эти задачи с высокой точностью и за время, несопоставимо меньшее, чем то, которое требовалось бы при ручной обработке [2]. С точки зрения профессиональной деятельности данный уровень не меняет художественной природы звукорежиссуры, он лишь перераспределяет трудозатраты между человеком и машиной в пользу последней.

Второй уровень – аналитический. ИИ здесь не просто обрабатывает сигнал, но интерпретирует его: определяет эмоциональный тон фрагмента, классифицирует его жанровую принадлежность, выявляет акустические свойства пространства, строит динамическую карту произведения. Применительно к кинозвукорежиссуре это означает, что алгоритм способен соотносить характеристики звукового поля с драматургическими задачами конкретной сцены и предлагать технические решения, усиливающие её художественный потенциал. Современные производства – «Avatar: The Way of Water» (2022), «Dune» (2021), «The Creator» (2023) – опираются на аналитические ИИ-системы как на неотъемлемый компонент рабочего процесса. Нейронные сети в этих проектах в режиме реального времени оценивали акустические параметры отдельных эпизодов и предлагали варианты их корректировки, ускоряя постпродакшн-цикл без потери художественного качества.

Третий уровень – генеративный. Именно он представляет наибольший теоретический и практический интерес, поскольку выводит ИИ за рамки инструментальной вспомогательности и делает его потенциальным участником творческого процесса. Нейросетевые системы WaveNet (DeepMind), Jukebox и MuseNet от OpenAI, Magenta (Google), AIVA, LANDR, Spleeter (Deezer) способны генерировать принципиально новые звуковые объекты – тембры, текстуры, мелодические конструкции [2; 3], а в ряде случаев создавать законченные музыкальные произведения, включая вокальный слой и текст. Что перемещает проблему из технологической в эстетическую и правовую плоскость.

Принципиально важно, что разные уровни операционального потенциала ИИ предъявляют к звукорежиссёру неодинаковые профессиональные требования. Использование ИИ на автоматизирующем уровне предполагает умение грамотно настраивать алгоритмические процессы и контролировать их результаты. Аналитический уровень требует понимания логики интерпретации данных нейросетью и способности соотносить её выводы с собственными художественными намерениями. Генеративный уровень ставит перед звукорежиссёром задачи принципиально иного рода: ему необходимо оценивать, отбирать и интегрировать созданный машиной материал в общую концепцию произведения, то есть выступать не исполнителем, а художественным куратором алгоритмических процессов [9].

2. Типология взаимодействия звукорежиссёра с нейросетью

Взаимоотношения профессионального звукорежиссёра с нейросетью не поддаются однородному описанию: они существенно варьируются в зависимости от характера решаемых задач, индивидуального стиля специалиста и особенностей конкретного проекта. Для аналитических целей представляется плодотворным выделить несколько устойчивых типов взаимодействия, различающихся по степени художественной инициативы, которую сохраняет за собой человек.

Первый тип – инструментальный. Звукорежиссёр использует ИИ строго для выполнения конкретных, чётко очерченных технических задач. Все художественные решения принимаются специалистом самостоятельно; алгоритм лишь реализует его указания с большей скоростью и точностью, чем позволяла бы ручная обработка. Данный тип взаимодействия практически не изменяет традиционную профессиональную идентичность звукорежиссёра.

Второй тип – диалогический. Специалист формулирует перед нейросетью параметры художественной задачи: желаемый эмоциональный тон, пространственные характеристики, жанровую направленность; нейросеть предоставляет вариативный исходный материал, который звукорежиссёр затем редактирует, аранжирует, приводит в соответствие со своим замыслом. Данная модель соответствует понятию «предкомпозиция»: нейросеть выступает источником первичного материала, доработка которого остаётся за человеком [3]. Именно по этой логике строился производственный процесс при создании произведения «Что Ты Такое» (2019) – проекта, в котором материал, генерированный нейросетью Magenta, был переработан, аранжирован и исполнен живым струнным квартетом.

Третий тип – делегирующий. ИИ берёт на себя полный цикл создания аудиопродукта по заданным параметрам; звукорежиссёр формулирует запрос и осуществляет финальную экспертную оценку результата. Профессиональная роль специалиста при таком взаимодействии смещается от «создателя» к «куратору»: он не сочиняет звуковое решение, но определяет критерии его отбора и несёт ответственность за конечный художественный результат. Этот тип взаимодействия наиболее распространён в коммерческом производстве, где скорость создания контента имеет первостепенное значение.

Четвёртый тип – генеративно-ансамблевый. Данная модель предполагает не последовательное, а параллельное взаимное влияние человека и алгоритма: звукорежиссёр реагирует на генерируемый материал в режиме реального времени, корректируя параметры нейросети; система, в свою очередь, немедленно отзывается на изменения. Итогом становится не просто использование продукции ИИ, а совместное интерактивное конструирование звукового пространства, напоминающее по своей логике джазовую импровизацию в составе ансамбля. Подобный подход реализуется в практике live-электроники и перформативного саунд-дизайна и предъявляет к звукорежиссёру максимальный уровень технологической и художественной гибкости.

Каждый из выделенных типов взаимодействия формирует специфический компетентностный профиль. Если инструментальный тип практически не выходит за рамки традиционной квалификационной матрицы звукорежиссёра, то диалогический, делегирующий и генеративно-ансамблевый последовательно перестраивают приоритеты в сторону развития аналитических, кураторских и импровизационно-технологических навыков. Тем самым типология взаимодействия становится одновременно и картой актуальных профессиональных требований.

3. Новая компетентностная матрица: содержание и структура

Традиционная модель профессиональной компетентности звукорежиссёра опирается на три взаимосвязанных блока: фундаментальное акустическое знание (законы распространения звука, психоакустика, физика аудиосигнала), технологическое умение (работа с аналоговым и цифровым оборудованием, освоение ключевых DAW-систем) и художественная интуиция, вырабатываемая в процессе многолетней профессиональной практики. Активное внедрение ИИ не отменяет ни одного из этих блоков, все они сохраняют свою актуальность, однако существенно перераспределяет их удельный вес и добавляет к ним новые компоненты, без освоения которых специалист рискует оказаться профессионально неконкурентоспособным.

Первая новая компетенция – технологическая грамотность в области алгоритмических систем. Речь не о том, чтобы звукорежиссёр превращался в программиста или специалиста по машинному обучению. Речь о том, что он должен понимать принципиальную логику работы нейросетевых инструментов: на каких обучающих данных построена система, как она генерализует приобретённые паттерны, каковы её системные ограничения и типичные случаи ошибочных решений. Без этого понимания звукорежиссёр превращается в неосознанного потребителя алгоритмической продукции, не способного критически оценить её художественную состоятельность [9].

Вторая новая компетенция – критическая экспертиза результатов ИИ. Нейросетевые системы способны генерировать материал, поверхностно соответствующий заданным параметрам, однако лишённый тонких художественных особенностей, которые отличают выразительное звуковое решение от технически достаточного. Звукорежиссёр обязан обладать достаточно дифференцированным музыкально-акустическим слухом, позволяющим уверенно разграничивать качественные и некачественные результаты алгоритмической работы без ориентации на авторитет создавшей их системы. Данная компетенция особенно значима применительно к генеративному уровню ИИ, где опасность некритического приятия машинной продукции наиболее высока [8].

Третья новая компетенция – этическая осведомлённость. Использование нейросетей в аудиопроизводстве порождает ряд вопросов, требующих осознанного, принципиально нейтрального отношения: правовой статус сгенерированного материала, обучение ИИ на чужих произведениях без ведома их авторов, имитация голосов и стилей реальных исполнителей. Эти вопросы не абстрактны: в 2022–2023 годах они породили громкие скандалы в мировой музыкальной индустрии – случай с ИИ-треком, выпущенным от имени Drake и The Weeknd, введение Академией звукозаписи США ограничений на участие ИИ-произведений в номинации на премию «Грэмми» [3]. Профессиональный звукорежиссёр должен ориентироваться в этическом и правовом ландшафте, определяемом применением ИИ в его отрасли.

Четвёртая и наиболее концептуально значимая новая компетенция – гибридное художественное мышление. Под этим понятием мы предлагаем понимать способность органично интегрировать технологические возможности ИИ в собственный творческий процесс: не как инородный элемент, навязанный извне, а как расширение индивидуального художественного инструментария. Гибридное мышление предполагает умение переводить эстетические намерения в алгоритмически понятные параметры и, в обратном направлении, интерпретировать технологически сгенерированный материал через призму художественного замысла. Специалист, освоивший гибридное мышление, не ощущает конкуренции или противоречия между своей творческой субъектностью и возможностями нейросети – он видит в последней дополнительное измерение собственного профессионального голоса [2].

4. Проблема авторства и эстетика сотворчества

Из всех вопросов, которые применение ИИ ставит перед звукорежиссёрским сообществом, вопрос о природе авторства является, по всей видимости, наиболее фундаментальным. Когда значительная часть акустического материала произведения – его текстуры, тембровые колоритуры, пространственные эффекты – создана нейросетью, в каком смысле звукорежиссёр остаётся его автором?

В исследовательской литературе по данной теме прослеживаются две полярные позиции. Сторонники юридического подхода настаивают на том, что авторство определяется принадлежностью прав: в большинстве случаев ими обладает либо разработчик нейросети, либо её пользователь – в зависимости от условий лицензионного соглашения платформы [3]. Такой подход правомерен в правовой плоскости, однако эстетически неудовлетворителен, поскольку полностью игнорирует вопрос о творческой субъектности.

Сторонники эстетического подхода предлагают связывать авторство с художественной ответственностью: автором является тот, кто несёт ответственность за смысловую, эмоциональную и художественную целостность произведения. При таком понимании звукорежиссёр, выстраивающий концепцию звукового пространства с помощью нейросети, остаётся полноправным автором – при условии, что именно его художественная воля определяет облик финального результата.

Нам представляется более продуктивной концепция дистрибутивного авторства. Она исходит из признания того, что в произведении, созданном при участии ИИ, может одновременно присутствовать несколько авторских инстанций, чьи вклады не конкурируют, а дополняют друг друга: творческая воля звукорежиссёра, художественная логика нейросети как специфической среды генерации и интеллектуальный труд разработчиков алгоритма. Художественная субъектность специалиста не исчезает при взаимодействии с нейросетью – она приобретает новое измерение, связанное с умением управлять интеллектуальными системами ради реализации собственного замысла. Иными словами, звукорежиссёр становится автором новой формации – куратором алгоритмических процессов.

Между тем наряду с вопросами авторства активного обсуждения требует и угроза унификации звукового языка. Массовое обращение к одним и тем же нейросетевым платформам с их типовыми генеративными пресетами способно привести к постепенной стандартизации

саунд-дизайна – выравниванию индивидуальных звуковых почерков, исчезновению оригинальных акустических решений. Данная угроза реальна, и противостоять ей можно лишь через осознанное и критическое отношение к продукции ИИ, через последовательное стремление к нестандартным художественным решениям [5]. Отдельного рассмотрения в этом контексте заслуживает точка зрения, согласно которой ИИ принципиально не способен на самостоятельное творческое порождение, он лишь рекомбинирует накопленные человеческие данные, оставаясь изощрённым зеркалом человеческого творчества [6]. Согласно этой логике, подлинная художественная индивидуальность звукорежиссёра – его неповторимый опыт, эстетические предпочтения, способность к нестандартным решениям – остаётся тем, что не может быть воспроизведено никаким алгоритмом.

5. Образовательные импликации и перспективы профессионального развития

Очерченные выше трансформации профессиональной идентичности звукорежиссёра влекут за собой настоятельную необходимость пересмотра подходов к подготовке специалистов в данной области. Действующие образовательные программы во многих профильных учебных заведениях сформированы на основе традиционной компетентностной модели и не учитывают в должной мере специфики работы в ИИ-интегрированной среде. Между тем именно образовательный уровень является тем звеном, на котором профессиональное сообщество может наиболее эффективно повлиять на формирование нового поколения специалистов.

Обновление образовательных программ для звукорежиссёров предполагает, на наш взгляд, включение нескольких принципиально новых содержательных блоков. Первый из них должен быть посвящён основам машинного обучения применительно к аудиоданным: не в объёме инженерной специализации, но в достаточной мере для того, чтобы у студента складывалось операциональное понимание принципов работы нейросетевых инструментов. Второй блок призван сформировать навыки критической аналитической оценки продукции ИИ – умение распознавать её сильные стороны и системные ограничения [1]. Третий блок должен быть посвящён этическим и правовым аспектам применения ИИ в творческой деятельности. Наконец, особого методического осмысления требует практика работы в условиях гибридного человеко-машинного сотворчества: описанный выше диалогический и генеративно-ансамблевый типы взаимодействия звукорежиссёра с нейросетью нуждаются в педагогически разработанных форматах освоения. В этой связи заслуживает внимания опыт образовательных программ, уже интегрировавших дисциплины в области звукового дизайна с учётом современных технологических реалий [1].

Прогностически можно ожидать, что дальнейшее развитие ситуации приведёт к появлению внутри профессии звукорежиссёра двух относительно автономных специализаций. Первая объединит технических операторов ИИ-систем: специалистов, обеспечивающих бесперебойное функционирование алгоритмических цепочек в рамках производственного процесса. Вторая сформируется вокруг функции художественного куратора звукового пространства: профессионала, чья компетентность состоит прежде всего в формировании концепции, выборе средств её реализации и экспертной оценке итогового результата – вне зависимости от того, были ли отдельные элементы этого результата созданы человеком или машиной. Подобная специализация уже намечается в практике крупных международных студий и продюсерских компаний.

Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать ряд ключевых выводов, значимых как в теоретическом, так и в практическом отношении.

Искусственный интеллект не замещает звукорежиссёра и не обесценивает художественной природы его профессии. Происходящая трансформация имеет принципиально иной характер: она переопределяет условия профессиональной деятельности, перераспределяя операциональную нагрузку между человеком и алгоритмом и тем самым высвобождая творческий

потенциал специалиста для задач художественно-концептуального уровня. Точнее всего суть этой трансформации может быть выражена через смену профессионального самоопределения: от «звукорежиссёр как технический специалист» к «звукорежиссёр как художественный куратор интеллектуальных процессов».

Названный сдвиг влечёт за собой необходимость формирования новой компетентностной матрицы, включающей технологическую грамотность в области ИИ, критическую экспертизу алгоритмической продукции, этическую осведомлённость и гибридное художественное мышление. Освоение этих компетенций становится условием профессиональной состоятельности звукорежиссёра в современных условиях.

Вместе с тем неизменной остаётся ценность художественной субъектности: уникальный индивидуальный стиль, выстроенный на основе многолетнего опыта чувственного взаимодействия со звуком, не поддаётся алгоритмическому воспроизведению. Именно эта субъектность служит неотчуждаемым основанием профессии и одновременно её конкурентным преимуществом перед лицом нарастающей алгоритмизации.

Предложенная в статье типология взаимодействия звукорежиссёра с нейросетью и концепция дистрибутивного авторства могут послужить отправными точками для дальнейших исследований в данной области, а также для разработки конкретных образовательных программ и профессиональных стандартов, соответствующих реалиям ИИ-интегрированного аудиопроизводства.

Список литературы

1. Аманмурадов, Ш. Ч. Изучение учебного предмета «Технология и практика звукового дизайна» в Государственном институте искусств и культуры Узбекистана / Ш. Ч. Аманмурадов // Наука. Культура. Искусство: актуальные проблемы теории и практики. – 2021. – С. 301–304.

2. Бурякова, О. С. Методы искусственного интеллекта в генерации алгоритмических музыкальных композиций / О. С. Бурякова, И. В. Решетникова, Л. В. Черкесова // Современные наукоёмкие технологии. – 2022. – № 8. – С. 82–91. – URL: https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39271 (дата обращения: 01.06.2026).

3. Григорьев, В. Е. Способы взаимодействия композитора с искусственным интеллектом и проблема авторства сгенерированного нейросетью произведения / В. Е. Григорьев // Вестник Академии Русского балета им. А.Я. Вагановой. – 2024. – № 2 (91). – С. 137-152.

4. Когоутек, Ц. Техника композиции в музыке XX века / Ц. Когоутек. – Москва : Музыка, 1976. – 367 с.

5. Лаврова, С. В. Проблема музыкального мышления и искусственный интеллект / С. В. Лаврова // Южно-Российский музыкальный альманах. – 2023. – № 4. – С. 84–95.

6. Ланье Дж. Кому принадлежит будущее? Мир, где за информацию платить будут вам / Дж. Ланье; пер. с англ. Э. Воронович, О. Липа. – Москва : Эксмо, 2020. – 496 с.

7. Мантров, Т. Т. Использование искусственного интеллекта в сфере звукорежиссуры / Т. Т. Мантров // Студенческий вестник: электрон. научн. журн. – 2023. – № 15 (254). – URL: https://www.internauka.org/journal/stud/herald/254 (дата обращения: 01.06.2026).

8. Рудик, Е. Д. Искусственный интеллект в дизайне звука: сравнительный анализ / Е. Д. Рудик // Современные инновации: научно-практический журнал. – 2023. – № 1. – С. 19–20.

9. Dhariwal P., Jun H., Payne C. Jukebox (2020) [Electronic resource]. – URL: https://openai.com/research/jukebox (date of access: 29.05.2026).

УДК 004.822

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАЛИДНОГО ВРЕМЕНИ В ГРАФЕ ЗНАНИЙ ДИАЛЕКТОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЯЗЫКОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

Хамидуллин М.Р., техник отдела геоинформационных технологий Института археологии им. А.Х. Халикова АН РТ, аспирант Института прикладной семиотики АН РТ;
ORCID: 0009-0008-4476-8405;
E-mail: manskzn@gmail.com;
Гатиатуллин А.Р., к.т.н., ведущий научный сотрудник Института прикладной семиотики АН РТ, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-3063-8147;
E-mail: ayrat.gatiatullin@gmail.com

MODELING VALID TIME IN THE KNOWLEDGE GRAPH OF A DIALECTOLOGICAL PLATFORM FOR REPRESENTING LANGUAGE CHANGE

Khamidullin M.R., technician, A.Kh. Khalikov Institute of Archaeology of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, PhD Student, Institute of Applied Semiotics of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0009-0008-4476-8405;
E-mail: manskzn@gmail.com;
Gatiatullin A.R., PhD, Leading Researcher, Institute of Applied Semiotics of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-3063-8147;
E-mail: ayrat.gatiatullin@gmail.com

Аннотация

Диалектологические данные по своей природе диахроничны. Диалект смещается по территории, языковой признак распространяется и угасает, оценка угрозы исчезновению пересматривается, а сама языковая форма эволюционирует через звуковые, морфологические и семантические сдвиги. Геолингвистический модуль DialectExpert платформы TurkLang описывает такие данные как граф со свойствами, где часть дат уже хранится прямо на связях, а отдельный темпоральный слой содержит узлы временного маркера и исторического события. Вместе с тем единая семантика валидного времени в модуле пока не задана, поэтому вопрос о том, каким было состояние предметной области в заданный год прошлого, не имеет единообразного выражения. Целью работы является модель валидного, или предметного, времени для диалектологического графа знаний, которая описывает языковое изменение системно и отделяет его от технического времени внесения записи. Методология опирается на теорию темпоральных баз данных, где различаются валидное и транзакционное время и формализуются отношения между интервалами, а также на выразительность графа со свойствами. Предложено закрепить валидное время за тремя носителями. Историческое событие выступает внешней причиной изменения и имеет собственную дату, темпоральное утверждение фиксирует привязанный к сущности период истинности факта и обобщает уже датированную оценку статуса, а переход между версиями языковой формы описывает эндогенное изменение вместе с датировкой и её неопределённостью. Отдельно обосновано разделение причины и периода истинности, что позволяет различать момент воздействия и длительность состояния. Практическая ценность в том, что модель придаёт связную семантику уже заложенному

в платформе темпоральному слою и служит основой для запросов о прошлом. Результат применим к задачам цифрового сохранения диалектов малоресурсных тюркских языков.

Ключевые слова: граф знаний, темпоральное моделирование, валидное время, языковые изменения, диахрония, диалектология, тюркские языки, граф со свойствами, реификация, неопределённость датировки

Abstract

Dialectological data are diachronic by nature. A dialect shifts across territory, a linguistic feature spreads and fades, the assessment of endangerment is revised over time, and a language form itself evolves through phonetic, morphological, and semantic changes. The DialectExpert geolinguistic module of the TurkLang platform represents such data as a property graph, in which some dates are already stored directly on relations, while a dedicated temporal layer contains temporal marker and historical event nodes. At the same time, the module has no unified semantics of valid time, so the question of what the state of the domain was in a given year of the past has no uniform expression. The aim of this work is a model of valid, or domain, time for a dialectological knowledge graph that represents language change systematically and separates it from the technical time at which a record is entered. The methodology draws on the theory of temporal databases, which distinguishes valid time from transaction time and formalizes relations between intervals, and on the expressiveness of the property graph. Valid time is assigned to three carriers. A historical event acts as an external cause of change and has its own date, a temporal assertion records an entity-bound period during which a fact holds and generalizes the already dated status assessment, and a transition between versions of a language form describes endogenous change together with its dating and the associated uncertainty. The separation of cause from the period of validity is justified separately, which allows the moment of influence to be distinguished from the duration of a state. The practical value is that the model gives coherent semantics to the temporal layer already present in the platform and provides a basis for queries about the past. The result is applicable to the digital preservation of dialects of low-resource Turkic languages.

Keywords: knowledge graph, temporal modeling, valid time, language change, diachrony, dialectology, Turkic languages, property graph, reification, dating uncertainty

Введение

Цифровая диалектология всё чаще опирается на графы знаний, которые связывают язык, диалект, территорию, носителя и проведённое исследование. В Институте прикладной семиотики Академии наук Республики Татарстан такой граф разрабатывается в геолингвистическом модуле DialectExpert онтолингвистической платформы TurkLang, которая сводит ресурсы более чем тридцати тюркских языков в единое концептуальное пространство и опирается на портал «Тюркская морфема» и корпус «Туган тел» [1, 2]. Модуль построен на гибридном хранилище, где графовая система управления базами данных (СУБД) Memgraph держит сеть отношений между диалектами, населёнными пунктами, носителями и экспедициями, а реляционная PostgreSQL хранит учётные записи и метаданные мультимедиа [2]. Синхронный, пространственный анализ близости диалектов на этой основе рассмотрен в [3], тогда как их изменение во времени остаётся в стороне.

Между тем такие данные принадлежат не одному срезу времени, а его протяжённости. Признак захватывает новые говоры и исчезает в других, оценка угрозы пересматривается от десятилетия к десятилетию, а форма меняет звучание, морфологию и значение. Модель графа со свойствами уже позволяет частично фиксировать это во времени, однако состояние предметной области в произвольный момент прошлого пока нельзя восстановить единообразно.

Настоящая работа предлагает модель валидного, или предметного, времени для диалектологического графа знаний, которая описывает языковое изменение системно и отграни-

чивает его от технического времени внесения записи. Работа носит постановочный характер, поэтому реализация и экспериментальная проверка вынесены в дальнейшую работу. Тема отвечает направлению форума Kazan Digital Week по цифровизации культурного наследия, ведь формальные средства описания динамики языка нужны для сохранения диалектов малочисленных народов.

Обзор подходов к представлению времени

Теория темпоральных баз данных различает два измерения времени [4]. Валидное время есть период, когда факт истинен в описываемом мире, а транзакционное отражает присутствие записи в базе. Для описания изменений содержательно валидное время, поскольку важно, когда признак существовал, а не когда о нём внесли сведения. Отношения между интервалами формализует алгебра Аллена [5], которая задаёт набор отношений вроде предшествования, пересечения и вложения и даёт язык для сопоставления периода изменения с датой вызвавшего его события.

Способ представления времени зависит от модели данных. В графах знаний на основе модели RDF (Resource Description Framework) бинарный триплет не имеет места для временной привязки, отчего применяют реификацию и конструкции с несколькими аргументами, а способы введения времени систематизированы в [6]. Модель графа со свойствами [7] в этом отношении гибче, так как допускает атрибуты не только на узлах, но и на рёбрах, поэтому период истинности можно закрепить непосредственно за связью без вспомогательных узлов. Именно на этой модели построен рассматриваемый модуль.

В диалектологии вычислительные методы развиты прежде всего в русле диалектометрии и лингвистической картографии [8], которые по преимуществу синхронны. Диахроническое измерение представлено слабее, тем более для малоресурсных тюркских языков, где формальные модели языкового изменения почти не разрабатывались. Систематической семантики валидного времени для диалектологического графа знаний, ориентированной на представление изменения, обнаружить не удалось, и этот пробел определяет вклад статьи.

Темпоральные средства модуля DialectExpert

Граф модуля образован семнадцатью типами узлов, распределёнными по пяти слоям, среди которых диалектологический, географический, персональный, исследовательский и темпоральный [2]. Формально это помеченный ориентированный граф со свойствами, где связи типизированы и несут собственные атрибуты. Благодаря этому часть дат уже хранится на рёбрах, например связь диалекта с его статусом угрозы несёт датировку оценки, а связи экспедиции и интервью хранят даты полевой работы. Темпоральный слой содержит узлы временного маркера и исторического события, задуманные для датирования и для описания внешних событий, повлиявших на язык.

Эти средства дают строительные блоки, но не образуют единой семантики времени. Валидное и транзакционное время не разграничены, поэтому историческая дата и дата внесения записи смешиваются. Временной маркер не доопределён, в частности не выражена неопределённость датировки, обычная для истории диалектов. Отсутствует версионирование языковых форм, так что переход одной формы в другую и его тип выразить нечем. Наконец, историческое событие не связано систематически с периодом, в течение которого факт был истинен, а датированная оценка статуса остаётся частным приёмом, не поднятым до общего механизма. Дальнейшие разделы предлагают семантику, которая устраняет эти пробелы.

Модель валидного времени

Предлагаемый слой сводит темпоральные средства модуля в связную модель валидного времени, схему которой показывает рис. 1.

В рассмотрение включается только валидное время. Транзакционное время в виде меток записи остаётся технической метадатой аудита и в модель не входит, что снимает смешение исторической даты с датой внесения записи. Единым носителем датировки становится временной маркер, доопределённый до интервала с началом, концом, типом границы (точно,

не ранее, не позднее, приблизительно) и мерой неопределённости. Явная неопределённость здесь не украшение, а требование области, ведь в истории диалектов точные годы редки.

Сопоставление интервалов между собой формализует алгебра Аллена [5]. Пусть каждый интервал описан парой границ, началом и концом, а для двух интервалов A и B их границы обозначены как a1, a2 и b1, b2, причём начало не позже конца. Алгебра выделяет полный набор взаимоисключающих отношений, которые определяются сравнением этих границ. Семь базовых отношений и их роль в предлагаемой модели приведены в таблице 1, при этом каждое из них, кроме равенства, имеет обратное, получаемое перестановкой интервалов.

Таблица 1

Базовые отношения алгебры Аллена и их роль в модели времени

Отношение	Условие на границы	Роль в модели времени
Раньше	a2 < b1	одно состояние полностью предшествует другому
Примыкает	a2 = b1	смена статуса без разрыва, когда конец одного периода совпадает с началом следующего
Пересекается	a1 < b1 < a2 < b2	период изменения частично налагается на интервал причины
Внутри	b1 < a1 и a2 < b2	короткий факт или отдельный год попадает внутрь более длинного интервала
Начинает	a1 = b1 и a2 < b2	периоды имеют общее начало
Заканчивает	a2 = b2 и b1 < a1	периоды имеют общий конец
Равно	a1 = b1 и a2 = b2	периоды полностью совпадают

Эти отношения задают формальный язык для сравнения интервалов в модели. Примыкание выражает непосредственную смену одного периода другим, пересечение и вложение описывают их частичное или полное совмещение, а вложение отдельной точки в интервал отвечает на вопрос о состоянии на заданный момент. Тем самым датировка с её неопределённостью и сопоставление интервалов получают единое основание, применяемое к конкретным носителям времени в следующих разделах и в примере.

Ключевое наблюдение состоит в том, что время держат разные сущности, и различие между ними содержательно. Историческое событие выступает внешней точечной причиной, будь то миграция или реформа письменности, обладает собственной датой и существует независимо от того, изучаем ли мы конкретный диалект. Темпоральное утверждение фиксирует привязанный к сущности период и сообщает, что нечто было истинно о ней в течение интервала, например что диалект бытовал в пункте в определённые годы или что статус угрозы оставался прежним. Переход между версиями формы описывает эндогенное изменение, при котором версия связывается с предшествующей отношением эволюции, типизированным по виду сдвига (фонетический, морфологический, лексический, семантический) и снабжённым датировкой с её неопределённостью.

Валидное время можно держать двояко. Для простого периода достаточно атрибутов на ребре, и именно так уже датируется оценка статуса. Когда же к факту нужно присоединить источник, меру уверенности и причину, ребро с датами уступает место отдельному узлу, темпоральному утверждению, которое обобщает датированную оценку статуса и делает её частным случаем общего механизма. Платой становится рост числа узлов, для постановочной задачи приемлемый.

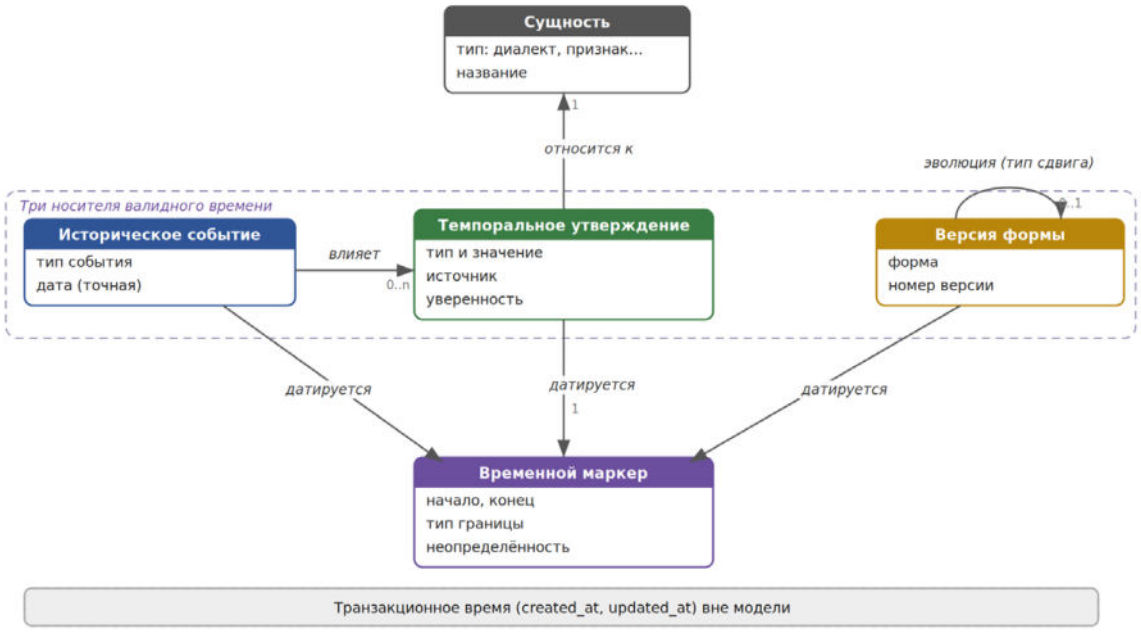


Рис. 1. Три носителя валидного времени в предлагаемой модели

Событие и вызванное им изменение связываются причинно, но событие не подменяет изменению его период. У события своя дата, а у утверждения или перехода свой интервал валидности, и они лишь коррелируют, обычно пересекаясь. Благодаря этому модель различает, когда факт был истинен и что послужило его причиной, вместо сведения обоих к одной дате. Сводка носителей приведена в таблице 2.

Таблица 2

Носители валидного времени в предлагаемой модели

Носитель времени	Что держит	Механизм
Историческое событие	Дату наступления внешней причины	Собственная датировка события и связь влияния к изменению
Темпоральное утверждение	Период истинности факта о сущности	Атрибуты периода на ребре или реифицированный узел
Переход между версиями формы	Датировку эндогенного изменения	Отношение эволюции с типом сдвига и датировкой
Запись узла или связи	Транзакционное время	Системная метка вне охвата модели

Иллюстративный пример

Рассмотрим фрагмент на условном материале татарской диалектологии; он иллюстрирует модель, а не проверяет её, и показан на рис. 2. Пусть оценка угрозы исчезновению для говора менялась, и с 2000 по 2010 год он считался уязвимым, а с 2010-х годов оценивается как находящийся под угрозой. Этому соответствуют два темпоральных утверждения при одном узле говора, так что узел не умножается, а история статуса восстанавливается как упорядоченная во времени последовательность.

Пусть далее фиксируется фонетический сдвиг, при котором ранняя версия словоформы сменяется поздней. Он моделируется двумя версиями формы, связанными отношением эволюции с типом изменения и приблизительной датировкой. Если сдвиг связан с внешней причиной, например с реформой письменности, соответствующее событие с точной датой присоединяет-

ся к переходу связью влияния, причём периоды остаются раздельными. Совмещение периодов на оси времени показано на рис. 3, где приблизительный интервал сдвига пересекается с точной датой события, а интервалы статуса располагаются отдельно. На такой структуре формулируются запросы, недоступные модели без времени, среди них восстановление состояния признака на заданный год и упорядочение версий формы в эволюционную цепочку.

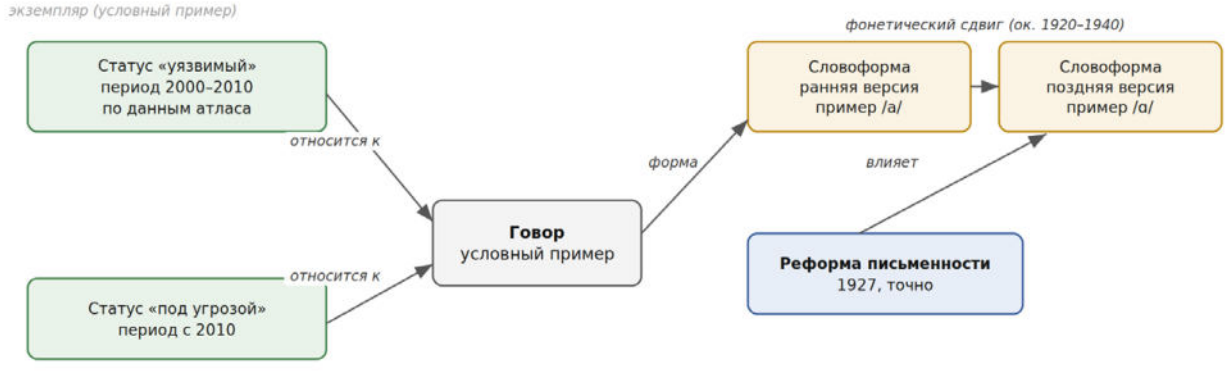


Рис. 2. Фрагмент графа для говора с историей статуса и эволюцией формы

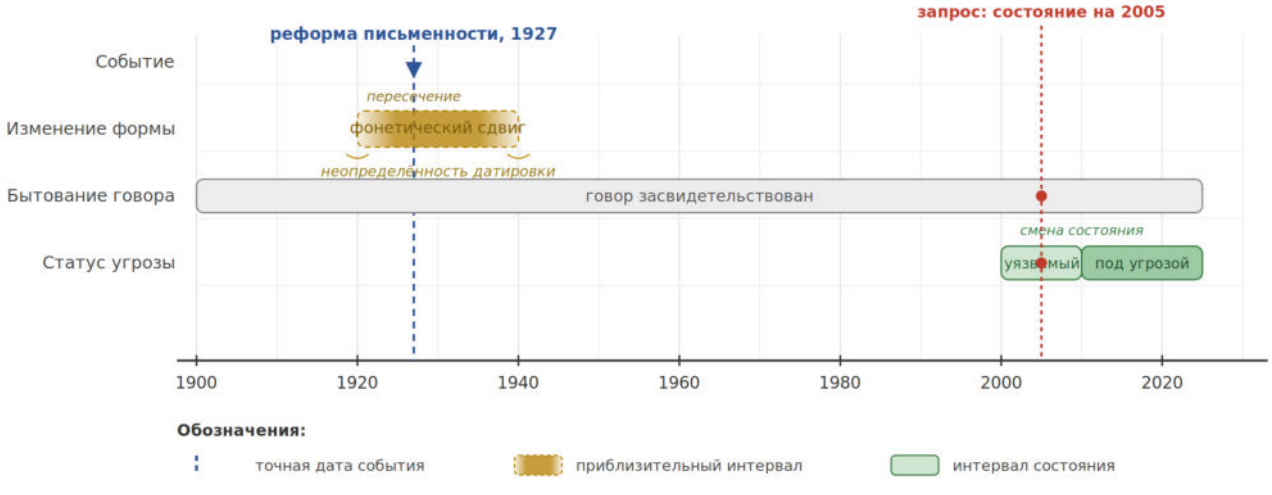


Рис. 3. Совмещение периодов валидного времени на оси времени

Обсуждение

Предложенный слой устраняет разрозненность темпоральных средств модуля. История состояний выражается через периоды утверждений, разграничение валидного и транзакционного времени снимает смешение предметной и технической хронологии, а возможность присоединить к утверждению источник и уверенность важна для полевых данных. Если геолингвистический модуль описывает пространственную близость диалектов [3], то предлагаемый слой добавляет к ней измерение времени.

Ограничения определяются характером работы. Модель не реализована и не проверена на объёме данных, а сравнение с альтернативами, среди которых введение времени в модель RDF [6] и битемпоральная реляционная схема [4], не проводилось. Реализация слоя поверх графовой СУБД модуля, наполнение реальными данными и экспериментальная оценка составляют программу дальнейшей работы, из которой вырастает отдельная публикация с апробацией.

Выводы

Предложена модель валидного времени для диалектологического графа знаний, представляющая языковое изменение системно. Время закрепляется за тремя носителями. Внеш-

нее событие несёт причину и собственную дату, отдельное утверждение задаёт период истинности факта о сущности, а версии формы связываются переходом, который несёт эндогенное изменение. Транзакционное время при этом остаётся технической метадатой. Датировка снабжается явной неопределённостью, а причина и период валидности разделяются, что делает динамику предметной области запрашиваемой. Модель опирается на уже заложенный в модуле DialectExpert темпоральный слой и доводит его до связной семантики валидного времени, служа основой для последующей реализации. Для тюркских языков, диахрония которых почти не формализована, такой результат особенно ценен.

Список литературы

1. Gatiatullin, A. Ontolinguistic Basis of Universal Linguistic Knowledge Graph «TurkLang» / A. Gatiatullin [et al.] // 2025 10th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). – 2025. – P. 1786–1791.

2. Gatiatullin, A. Hybrid Architecture of the Geolinguistic Module of the TurkLang Platform: PostgreSQL + Memgraph / A. Gatiatullin, M. Khamidullin. – 2025. – (в печати).

3. Burnashev, R. Geolinguistic System for Dialect Similarity Analysis Based on Associative Rules and Fuzzy Logic / R. Burnashev, A. Gatiatullin, M. Khamidullin // 2025 10th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). – 2025. – P. 1782–1785.

4. Snodgrass, R. T. Developing Time-Oriented Database Applications in SQL / R. T. Snodgrass. – San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 2000. – 504 p.

5. Allen, J. F. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals / J. F. Allen // Communications of the ACM. – 1983. – Vol. 26, № 11. – P. 832–843.

6. Gutiérrez, C. Introducing Time into RDF / C. Gutiérrez, C. A. Hurtado, A. Vaisman // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2007. – Vol. 19, № 2. – P. 207–218.

7. Robinson, I. Graph Databases: New Opportunities for Connected Data / I. Robinson, J. Webber, E. Eifrem. – 2nd ed. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2015. – 224 p.

8. Wieling, M. Advances in Dialectometry / M. Wieling, J. Nerbonne // Annual Review of Linguistics. – 2015. – Vol. 1. – P. 243–264.

УДК 004.031.4

ПЛАТФОРМЕННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ПРЕДМЕТНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ НА ЕДИНОМ ПРОГРАММНОМ ЯДРЕ

Хамидуллин М.Р., техник отдела геоинформационных технологий Института археологии им. А.Х. Халикова АН РТ, аспирант Института прикладной семиотики АН РТ, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0008-4476-8405;
E-mail: manskzn@gmail.com

A PLATFORM-BASED APPROACH TO BUILDING DOMAIN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR CULTURAL HERITAGE ON A UNIFIED SOFTWARE CORE

Khamidullin M.R., technician, A.Kh. Khalikov Institute of Archaeology of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, PhD student, Institute of Applied Semiotics of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0008-4476-8405;
E-mail: manskzn@gmail.com

Аннотация

Рост числа предметных цифровых ресурсов в сфере историко-культурного наследия сопровождается устойчивой проблемой. Каждая новая система, портал или реестр разрабатывается изолированно, что ведёт к дублированию программного кода, моделей данных и сервисов, росту сроков и стоимости разработки и разрозненности накапливаемых сведений. В статье предлагается и обосновывается платформенный подход к созданию предметных геоинформационных систем наследия, при котором новый тематический ресурс создаётся преимущественно путём конфигурирования единого программного ядра, а не разработки с нуля. Ядро объединяет унифицированную модель данных с готовым набором типов объектов и связей между ними, а также совокупность сквозных сервисов, наследуемых любым создаваемым ресурсом без повторной реализации, среди которых мультиязычность, модерация содержания, ведение истории версий, геопространственный слой и поиск. Эмпирической основой служит разработанное единое программное ядро «Дөнья», на базе которого реализован действующий предметный модуль «Культурное наследие Татарстана и татарского народа». На этом ядре отработан механизм создания самостоятельных предметных модулей и обеспечена изоляция данных отдельных проектов в пределах общей базы. Показано, что архитектура допускает как развёртывание нового ресурса в виде витрины поверх общей базы, так и вынос модуля в отдельный экземпляр с собственной базой данных, интегрированной с центральной. Определены уровни самостоятельности создаваемых ресурсов и критерии выбора между ними. Обосновано, что подход существенно снижает трудозатраты и сроки запуска нового ресурса при сохранении его технической и содержательной самостоятельности. Результаты применимы при проектировании тиражируемых информационных систем в области цифровизации науки и культурного наследия.

Ключевые слова: геоинформационная система, платформенная архитектура, единое программное ядро, переиспользование, модель данных, изоляция данных, предметная информационная система, тиражируемость, цифровое наследие, мультиязычность

Abstract

The growing number of domain-specific digital resources in the field of cultural heritage is accompanied by a persistent problem. Each new system, portal or registry is developed in isolation, which leads to duplication of program code, data models and services, longer development times, higher costs and fragmentation of the accumulated information. This paper proposes and substantiates a platform-based approach to building domain geographic information systems for heritage, in which a new thematic resource is produced mainly by configuring a unified software core rather than developing it from scratch. The core combines a unified data model with a ready-made set of object types and relations between them, as well as a set of cross-cutting services inherited by any resource without reimplementation, including multilingual support, content moderation, version history, a geospatial layer and search. The empirical basis is the developed unified software core «Dөnya», on top of which the operating domain module «Cultural Heritage of Tatarstan and the Tatar People» is implemented. On this core a mechanism for building independent domain modules has been established and isolation of individual projects data within a shared database has been ensured. It is shown that the architecture allows both the deployment of a new resource as a showcase over the shared database and the extraction of a module into a separate instance with its own database integrated with the central one. Levels of independence of the created resources and criteria for choosing between them are defined. It is substantiated that the approach significantly reduces the effort and time to launch a new resource while preserving its technical and substantive independence. The results are applicable to the design of replicable information systems in the field of digitalization of science and cultural heritage.

Keywords: geographic information system, platform architecture, unified software core, reusability, data model, data isolation, domain information system, replicability, digital heritage, multilingualism

Введение

Цифровизация научной и культурной сфер сопровождается устойчивым ростом числа предметных информационных систем. Отдельные порталы, реестры и геоинформационные ресурсы создаются под конкретные коллекции, территории и научные направления [1]. При этом каждый такой ресурс, как правило, разрабатывается изолированно, со своей моделью данных, своим программным кодом и своим набором функций. Следствием становится многократное дублирование однотипной работы, рост сроков и стоимости разработки, а также разрозненность данных, затрудняющая их совместное использование в научном обороте [2].

Особенно наглядно эта проблема проявляется в области историко-культурного наследия, где такие предметные области, как археология, этнография, фольклористика, лингвистика и архивное дело, тематически различны, но опираются на близкие по структуре сущности, в числе которых объект, его местоположение, датировка, связанные материалы и публикации. Разработка отдельной системы под каждое направление воспроизводит одну и ту же инженерную основу заново, тогда как значительная часть модели данных и функционала у таких систем совпадает.

Настоящая работа исходит из тезиса, что указанного дублирования можно избежать, если рассматривать не отдельные системы, а единое программное ядро, на котором новые предметные ресурсы разворачиваются преимущественно за счёт конфигурирования, а не разработки с нуля. Такое ядро объединяет унифицированную модель данных с уже готовым набором типов объектов и связей между ними и совокупность сквозных сервисов, которые новый проект наследует без повторной реализации.

Основой для анализа служит разработанное единое программное ядро «Дөнья», на базе которого реализован действующий предметный модуль «Культурное наследие Татарстана и татарского народа» [3, 4]. Это ядро уже используется как для самостоятельного ресурса, так и для создания новых предметных модулей [5]. Цель статьи состоит в описании такого подхода и обосновании его преимущества по трудозатратам в сравнении с изолированной разработкой. Последовательно рассматриваются модель данных ядра, сквозные сервисы, механизм создания ресурсов и уровни их самостоятельности.

Подходы к построению предметных систем

При потоке тематически различных проектов в области историко-культурного наследия требуется способ организации разработки, который минимизирует дублирование кода и данных, но сохраняет самостоятельность каждого ресурса. Самостоятельность понимается в двух смыслах. Технический смысл предполагает собственный клиентский интерфейс, доменное имя и выделенный срез данных, а содержательный означает, что ресурс воспринимается пользователем и научным сообществом как отдельный продукт, а не раздел чужой системы.

Исторически сложились три подхода к такой организации. Первый подход, изолированная разработка, предполагает создание каждого проекта как самостоятельного программного продукта с собственной моделью данных и функционалом. Он обеспечивает максимальную гибкость и полную независимость результата, но ценой многократного воспроизведения однотипной инженерной основы, поскольку модель объектов, средства ввода и модерации, картографический и поисковый слои разрабатываются заново для каждого ресурса. Следствием становятся повышенные сроки и стоимость, а также слабая сопоставимость данных между системами [1].

Второй подход, платформенная, или мультиарендная, архитектура, предполагает, что единое программное ядро обслуживает множество проектов, а разделение между ними обеспечивается на уровне данных и конфигурации [3]. Такой подход резко сокращает дублирование за счёт того, что модель данных и сервисы разрабатываются однократно и переиспользуются всеми проектами. Его ключевые издержки лежат не в разработке, а в проектировании, поскольку требуется аккуратно провести границу между общими и локальными данными, обеспечить изоляцию проектов и управляемость общего ядра.

Третий подход развивает второй и состоит в конфигурируемом, модельно-ориентированном создании ресурсов, когда новый проект создаётся преимущественно настройкой параметров поверх готового ядра, а не написанием кода [2]. Он даёт наименьший срок запуска и наибольшую степень переиспользования, но предъявляет повышенные требования к зрелости самого ядра, поскольку модель данных и сервисы должны быть достаточно полными и универсальными, чтобы покрывать новые предметные области без доработки.

Для сопоставления подходов в настоящей работе используется несколько критериев. К ним относятся срок и трудозатраты на запуск нового ресурса, степень переиспользования модели данных и сервисов, самостоятельность результата в техническом и содержательном смысле, управляемость и достоверность данных, а также стоимость сопровождения совокупности ресурсов. По этим критериям изолированная разработка проигрывает по издержкам и связности данных, тогда как платформенный подход с конфигурируемым созданием обеспечивает переиспользование и низкий срок запуска при сохранении самостоятельности каждого ресурса, при условии, что ядро обладает достаточно развитой моделью данных и набором сервисов [6]. Проверке этого условия и посвящены последующие разделы.

Модель данных и сервисы единого ядра

Основу платформы составляет унифицированная модель данных, описывающая объекты историко-культурного наследия и связи между ними. В ней выделяются две группы типов. Первая специфична для конкретной научной области и рассматривается здесь на примере археологических данных, включая памятник, раскоп, культурный слой, комплекс находок, артефакт и археологическую культуру. Вторая объединяет общие переиспользуемые типы, такие как персона, публикация, отчёт, исследование и изображение, которые не привязаны к одной области. Всего модель насчитывает несколько десятков типов объектов и связей между ними, образующих единый граф (рис. 1) [7].



Рис. 1. Разделение модели на специфичные (археологические) и общие переиспользуемые типы, к которым подключается другая научная область

Разделение на специфичные и общие типы обеспечивает переиспользование модели при подключении новой научной области. Такая область добавляет собственные специфичные типы, но связывает их с уже готовыми общими моделями, наследуя единые механизмы

описания персон, публикаций, исследований и изображений. Так, при подключении фольклорных материалов новые типы были связаны с общими моделями персон, публикаций и изображений, что подтверждает переиспользуемость ядра на практике [8]. Тем самым платформа расширяется на смежные направления без построения модели заново, а археология выступает лишь одним из возможных наполнений.

Каждый тип объекта описывается набором атрибутов и связан со справочниками и классификаторами, что обеспечивает единообразие ввода и сопоставимость данных между проектами. Пространственные атрибуты, изображения и датировки хранятся в единой структуре, а справочные значения переиспользуются всеми предметными областями, что исключает повторное описание одних и тех же сущностей. Доступ к данным осуществляется через единый программный интерфейс с параметризацией по проекту.

Ещё одно важное для тиражируемости свойство модели состоит в изоляции данных. Существующая схема может использоваться повторно без изменений или адаптироваться под новое направление, а новый предметный блок подключается как дополнительный модуль поверх имеющейся базы. Данные отдельного проекта разграничиваются в пределах общей схемы, тогда как общие справочники остаются разделяемыми, и каждый ресурс работает со своим срезом, не затрагивая записи других проектов. Это позволяет вести несколько проектов на одном ядре, сохраняя самостоятельность данных каждого из них.

Вместе с моделью новый ресурс наследует набор готовых сквозных сервисов, которые при изолированной разработке пришлось бы создавать заново (рис. 2). В их числе мультиязычность с переводом интерфейса и данных, модерация с разграничением ролей, ведение истории версий, единая связность объектов, геопространственный слой с картографией, поиск, единая карточка объекта, программный интерфейс для интеграции и индексируемость в поисковых системах. Достоверность и воспроизводимость данных тем самым встроены в платформу, а не достраиваются под каждый проект. Аналитические возможности более высокого уровня, такие как пространственный анализ и предиктивные модели, пока не входят в состав реализованных сервисов и рассматриваются как перспективное направление.



Рис. 2. Сквозные сервисы, наследуемые предметным ресурсом от ядра

Создание предметных систем на платформе

Создание нового предметного ресурса на платформе осуществляется преимущественно средствами конфигурирования. Организующим понятием выступает портал, или витрина. Это отдельная точка входа, которая представляет заданный срез данных общей базы и снабжается собственным пользовательским интерфейсом, доменным именем и языковым окружением. Привязка проектов к витрине выполняется средствами администрирования, без изменения программного кода ядра, поэтому запуск нового ресурса не требует отдельного цикла разработки. Ресурс может строиться по одной из трёх моделей, показанных на рис. 3. Первая модель, витрина в базовом портале culturetat, размещает и представление, и данные в контуре платформы. Вторая модель, сторонний клиентский интерфейс, работает с ядром платформы через программный интерфейс. Третья модель, интеграция внешнего источника в портал, включает сторонние данные в контур платформы. Во всех трёх случаях используются одно и то же ядро и общая модель данных.

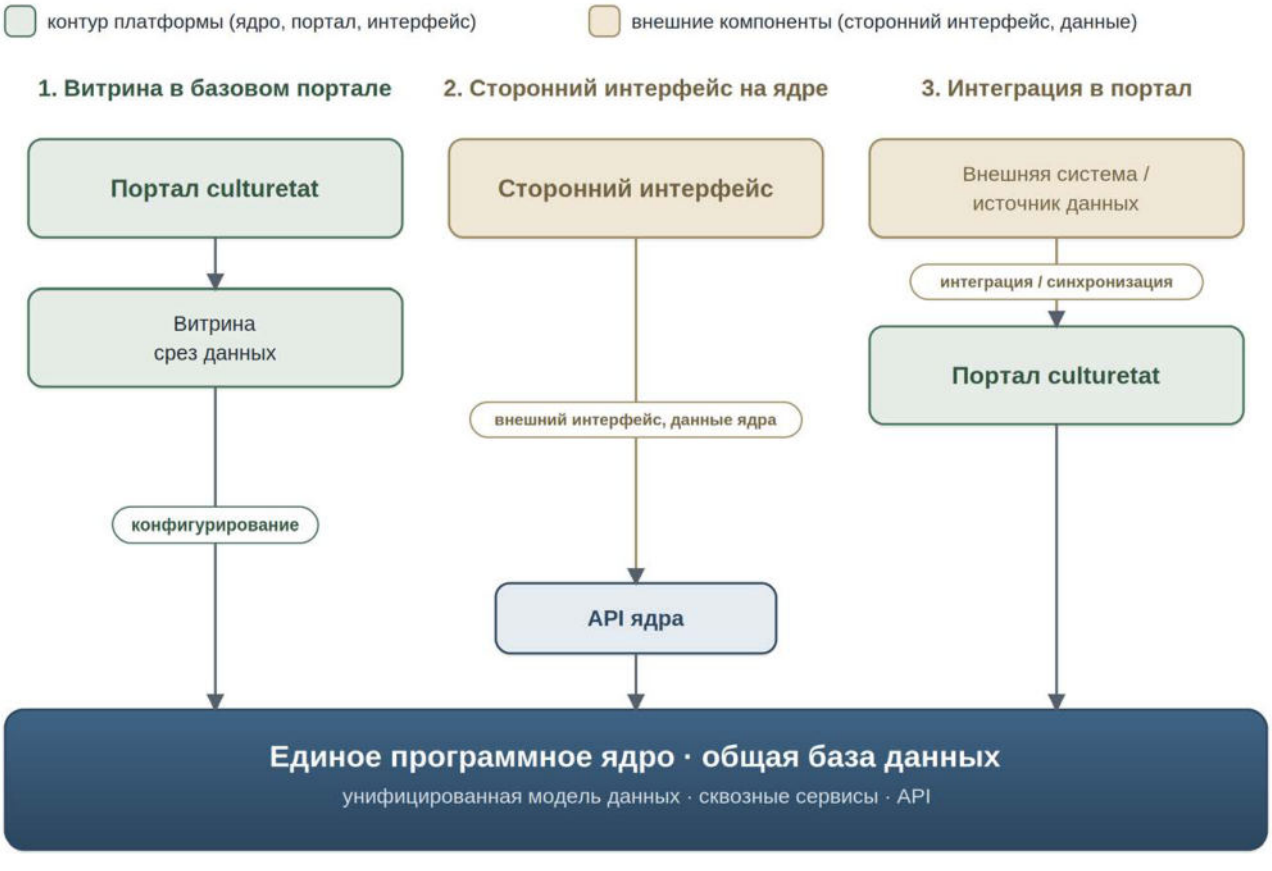


Рис. 3. Три модели построения ресурса на едином ядре,
а именно витрина в базовом портале, сторонний клиентский интерфейс
на ядре и интеграция внешнего источника в портал

Глубина обособления создаваемого ресурса может быть различной, что удобно представить в виде последовательности уровней (рис. 4). На первом уровне ресурс существует как витрина поверх общей базы. Он самостоятелен для пользователя, но технически разделяет с другими проектами единое ядро и хранилище. На втором уровне модуль выносится в отдельный экземпляр с собственной базой данных, интегрированной с центральной через программный интерфейс и общие справочники, при этом проектные данные ведутся локально, а общие классификаторы наследуются от ядра. Третий уровень предполагает продуктовое развёртывание платформы у сторонней организации с возможностью последующей федерации с центральным ресурсом.

Выбор уровня определяется требованиями конкретного проекта. Если приоритетны скорость запуска и единство данных, достаточно витрины поверх общей базы. Если требуется организационная или юридическая обособленность ресурса, оправдан вынос в отдельный экземпляр с интеграцией к центральной базе. Продуктовое развёртывание применимо, когда ресурс передаётся сторонней организации, сохраняющей возможность обмена данными с центром.



Рис. 4. Уровни самостоятельности создаваемого ресурса

Платформа поддерживает все три уровня, и для второго и третьего предусмотрены варианты реализации. Это позволяет подобрать степень обособления ресурса под конкретный проект, не изменяя ядро.

Апробация

Предложенный подход апробирован на практике. На едином программном ядре развёрнуто семейство предметных систем историко-культурного наследия, различающихся тематикой и составом данных, но использующих общую модель и общие сервисы, что подтверждается интеграцией археологических, фольклорных и лингвистических материалов на общей основе [8, 5]. Тем самым на практике проверены и механизм создания новых ресурсов, и переиспользование накопленной основы.

Оценка эффекта проводится по трудозатратам на запуск нового ресурса. Наиболее трудоёмкие компоненты, которые при изолированной разработке создаются заново для каждого проекта, при платформенном подходе наследуются от ядра, а работа сводится к настройке состава данных и оформлению витрины. Именно на них приходится основная часть затрат, поэтому их однократная реализация на уровне ядра даёт кратный выигрыш даже при качественной оценке.

Общность подхода не ограничивается рассмотренной предметной областью. На том же ядре могут быть развёрнуты ресурсы смежных научных и культурных направлений, например по этнографии, лингвистике или музейным собраниям, если их сущности укладываются в модель объектов с пространственной привязкой и связями. Это указывает на применимость подхода в пределах научно-культурной сферы за рамками конкретной реализации.

Заключение

В работе рассмотрен платформенный подход к созданию предметных геоинформационных систем в области историко-культурного наследия. Показано, что единое программное ядро, объединяющее унифицированную модель данных и набор сквозных сервисов, позво-

ляет создавать новые предметные ресурсы преимущественно средствами конфигурирования и обеспечивает изоляцию данных отдельных проектов в пределах общей базы. Тем самым достигается снижение сроков и трудозатрат на запуск нового ресурса при сохранении его технической и содержательной самостоятельности.

Определены уровни обособления создаваемых ресурсов, от витрины поверх общей базы до автономного экземпляра с интеграцией, и показано, что все они поддерживаются платформой. Дальнейшее развитие связано с углублением межсистемной интеграции, консолидацией лингвистических данных и расширением аналитического слоя [5]. Практическая значимость работы состоит в том, что описанный подход применим не только в рамках рассмотренной платформы, но и как образец организации разработки для других предметных областей, где накапливаются пространственно привязанные и взаимосвязанные данные. Полученные результаты применимы при проектировании тиражируемых информационных систем в сфере цифровизации науки и культурного наследия.

Список литературы

1. Nishanbaev I., Champion E., McMeekin D. A. A Web GIS-based integration of 3D digital models with linked open data for cultural heritage exploration // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2021. – Vol. 10, no. 10. – Art. 684. – DOI 10.3390/ijgi10100684.

2. Candela G., Sáez M. D., Escobar P., Marco-Such M. Reusing digital collections from GLAM institutions // Journal of Information Science. – 2022. – Vol. 48, no. 2. – P. 251–267. – DOI 10.1177/0165551520950246.

3. Многопользовательская онлайн-ГИС «Культурное наследие Татарстана и татарского народа» как инструмент интеграции междисциплинарных данных о регионе / Л. А. Вязов, Т. Р. Марданов, Н. Э. Селезнева, А. Г. Ситдиков // Международный форум Kazan Digital Week – 2021 : Сборник материалов, Казань, 21–24 сентября 2021 года. Ч. 1. – Казань : ГБУ «НЦБЖД», 2021. – С. 447–457.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687445 Российская Федерация. Географическая информационная система «Культурное наследие Татарстана и татарского народа» : № 2023687132 : заявл. 08.12.2023 : опубл. 14.12.2023 / А. Г. Ситдиков ; заявитель ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан». – EDN QGTJAX.

5. Мухаметшин Р. Р., Гатиатуллин А. Р., Ситдиков А. Г., Хамидуллин М. Р. Онлайн-ГИС «Культурное наследие Татарстана и татарского народа»: перспективы развития // Международный форум Kazan Digital Week – 2024 : Сборник материалов. – Казань : Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2024. – С. 1411–1417.

6. ISO 21127:2023. Information and documentation. A reference ontology for the interchange of cultural heritage information. – Geneva : International Organization for Standardization, 2023. – 116 p.

7. Ranjgar B., Sadeghi-Niaraki A., Shakeri M., Choi S.-M. An ontological data model for points of interest (POI) in a cultural heritage site // Heritage Science. – 2022. – Vol. 10. – Art. 13. – DOI 10.1186/s40494-022-00637-1.

8. Хамидуллин М. Р., Мухаметшин Р. Р., Ямалтдинов И. И. Интеграция модуля работы с фольклорными материалами в онлайн-ГИС «Культурное наследие Татарстана и татарского народа» // Международный форум Kazan Digital Week – 2023 : Сборник материалов, Казань, 20–22 сентября 2023 года. – Казань : Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2023. – С. 1133–1139. – EDN DVIRHX.

УДК 101.1 + 004.8

СОКРАЩЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КОНТЕНТА КАК ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ФИЛОСОФСКАЯ ПРОБЛЕМА

Щеглова М.И., к.ф.н., доцент кафедры философии, культурологии и социологии;
ORCID: 0000-0002-3280-9782;
Парфёнов Д.И., к.т.н., доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Оренбургского государственного университета имени В.А. Бондаренко, г. Оренбург, Россия;
ORCID: 0000-0002-1146-1270

THE REDUCTION OF HUMAN-GENERATED CONTENT AS A TECHNOLOGICAL AND PHILOSOPHICAL PROBLEM

Shcheglova M.I., PhD in Philosophy, Associate Professor at the Department of Philosophy, Culturology and Sociology;
ORCID: 0000-0002-3280-9782;
Parfenov D.I., PhD in Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Computer Software and Automated Systems, Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Orenburg, Russia;
ORCID: 0000-0002-1146-1270

Аннотация

В статье рассматривается проблема сокращения человеческого контента и рост синтетических данных как проблема качества результатов генерации систем искусственного интеллекта. Проводится связь между качеством, количеством и новизной. Приводится аргументация для доказательства существующих рисков. Опираясь на исследование П. Виллалобоса и соавторов, прогнозирующее исчерпание публичного человеческого текстового стока к 2026–2032 годам, и на работу И. Шумаилова с коллегами о коллапсе моделей при рекурсивном обучении на синтетических данных, показано, что проблема выходит за рамки статистической деградации и затрагивает вопрос о природе новизны, творчества и авторства. Также вводится трёхчастная классификация причин сокращения человеческого контента – процессуальные (изменение стратегий поиска информации, феномен «нулевого клика»), генеративные (рост доли синтетических данных, замещение форумной активности обращением к языковым моделям) и агентные (размывание границы между генерацией и креацией, обесценивание роли человека-автора). Отдельное внимание уделено механизмам демотивации создателей контента: несанкционированное использование их труда как «сырья» для обучения моделей воспринимается как нарушение автономии и подрывает внутреннюю мотивацию к созданию контента, что подтверждается эмпирическими данными об отношении авторов к ИИ-скрейпингу и о снижении активности на профильных платформах. Предложенная симметричная классификация причин и решений задаёт векторы дальнейшего осмысления проблемы сохранения человеческого начала в производстве знания в условиях экспансии генеративных технологий. Утверждается, что развитие качества и позитивной функции систем искусственного интеллекта в жизни общества зависит от готовности самого общества признать человека источником новизны, мотивировать его и утверждать ценностную значимость человеческого творчества.

Ключевые слова: искусственный интеллект, философия искусственного интеллекта, автор, генеративные модели, творчество, коллапс модели, эпистемология

Abstract

This article examines the problem of diminishing human-generated content and the rise of synthetic data as a challenge to the quality of generative AI outputs. The study establishes a connection

between quality, quantity, and novelty, providing arguments to substantiate existing risks. Drawing on the research by P. Villalobos et al., which forecasts the depletion of the public human text stock between 2026 and 2032, and the work of I. Shumailov and colleagues regarding model collapse under recursive training on synthetic data, the author demonstrates that the issue transcends statistical degradation. It fundamentally concerns the nature of novelty, creativity, and authorship.

The paper introduces a three-part classification of the causes behind the reduction of human content. Procedural: changes in information search strategies and the «zero-click» phenomenon; generative: the increasing share of synthetic data and the replacement of forum activity with interactions with language models; agentic: the blurring boundary between generation and creation, leading to the devaluation of the human author's role. Special attention is given to the mechanisms demotivating content creators: the unauthorized use of their labor as «raw material» for model training is perceived as a violation of autonomy and undermines intrinsic motivation. This is supported by empirical data on authors' attitudes toward AI scraping and declining activity on professional platforms. The proposed symmetric classification of causes and solutions outlines vectors for further reflection on preserving the human element in knowledge production amidst the expansion of generative technologies. It is argued that the development of high-quality and socially beneficial artificial intelligence systems depends on society's willingness to recognize humans as the source of novelty, motivate them, and affirm the value-significance of human creativity.

Keywords: artificial intelligence, philosophy of artificial intelligence, author, generative models, creativity, model collapse, epistemology

Введение

Проблема исчерпания контента, созданного человеком, для обучения систем искусственного интеллекта (далее – «систем ИИ») традиционно понимается как техническая. Человеческий контент рассматривается утилитарно, то есть как источник датасета и один из ведущих факторов качества обработки запросов пользователей. Это некий ресурс, к которому применимы классические характеристики: ограниченность объёма, «качественность сырья» (гипотеза низко висящих плодов Т. Коуэна) [1] и скорость его воспроизводства. Указанное описывается количественными показателями, в то время как философское исследование проблемы приводит нас к анализу качественного содержания контента.

Качественно-количественная характеристика выражена в эпистемическом понятии «новизна», которая может быть описана через ответы на серию вопросов: как часто создаётся контент, несущий значимость для различных институтов; насколько он отличен от уже отрефлексированного обществом накопленного опыта; и насколько он релевантен существующей картине мира (мы принципиально не затрагиваем проблему истинности). Такой подход, хоть и определён объективными факторами развития систем ИИ, уводит нас от ценностного отношения к тому, что создано человеком.

И уже техническая проблема инфляции датасета оборачивается философскими вопрошаниями о природе творчества, вопросах целеполагания и роли автора вообще. Если недавно Ролан Барт заявил о смерти последнего, отводя ему роль «скриптора» (записчика) [2], то сегодня мы наблюдаем и смерть автора как демиурга, создателя или генератора. Эта ремарка значима, так как наилучшим по результату техническим решением сокращения нового человеческого контента стало бы требование к людям создавать его – некие фермы креаторов, что, очевидно, противоречит идеалам гуманизма, которыми должно руководствоваться общество. Отсюда вытекает важность исследования механизмов мотивации ввиду их практической значимости.

Обоснование проблемы

В мировой аналитической и научной литературе накапливается опыт осмысления схлопывания данных. Знаковой стала работа исследователей П. Виллалобоса и его команды, представленная на 41-й Международной конференции по машинному обучению (PMLR). Авторы,

используя методологию индексированного веба, оценили число веб-страниц, умножили на среднее число байт текста на страницу и перевели байты в токены.

Метод интернет-популяции (альтернативная оценка снизу): моделируется рост числа интернет-пользователей (население мира × уровень проникновения интернета, аппроксимированный сигмоидой), затем данные о среднем объёме контента на пользователя (соцсети, мессенджеры) масштабируются на прогноз численности пользователей и суммируются по годам. Исследователи пришли к выводу, что пересечение медианных проекций «запаса» и «спроса» на данные даёт медианный год исчерпания (2028), с учётом сценариев overtraining (5×) как более раннего варианта. Дополнительно для устойчивости выводов проведены проверки чувствительности (например, к доле английского контента в интернете, к темпам роста индексируемого веба) и построена теоретическая модель профит-максимизации разработчиков (уравнения 6–8) для анализа выбора между overtraining/undertraining в условиях дефицита данных. Более широкий диапазон: исчерпание произойдёт между 2026 и 2032 гг. При этом к 2032 году вероятность исчерпания становится очень высокой. Если модели активно переобучают (overtraining, 5×) – момент наступает примерно на 1 год раньше, при уровне вычислений ~6×10^{27} FLOP [3].

Авторы рассматривали и альтернативные источники данных, которые, на их взгляд, всё же не решают проблему кардинально. Они отнесли к ним: – непубличные данные (соцсети, мессенджеры): суммарно ~760T–3000T токенов, но добавление отложило бы исчерпание лишь на ~1,5 года; – мультимодальные данные (изображения, видео): сопоставимы по масштабу с текстовым вебом, но не дают принципиального прорыва; – инстант-мессенджеры совместно с данными электронных почт: добавляют менее 1 года отсрочки.

Оптимистичный прогноз строится на социальных процессах: рост числа населения, которому становится доступен Интернет, при сохранении скорости генерации на пользователя. Действительно, согласно данным Международного союза электросвязи (ITU) наблюдается значительный рост распространения сети. В 2025 году онлайн находился 74% населения мира по сравнению с 71% годом ранее – почти три четверти человечества, но прогресс замедляется, и только 2,2 миллиарда человек всё ещё остаются без сети. Мы полагаем, что это классическая сигмоидная кривая распространения технологий, и темп абсолютного прироста пользователей уже прошёл пик, а асимптотический показатель упрётся в 90%.

Не менее важная работа для подтверждения проблемы вышла в 2024 году под названием «AI models collapse when trained on recursively generated data» («Коллапс ИИ-моделей при обучении на рекурсивно сгенерированных данных») [4]. В ней И. Шумаилов с командой исследователей показывают, что к «коллапсу модели» приводит обучение последующих поколений на базе контента, сгенерированного предыдущей. В результате теряется часть исходных распределений данных, а быстрее всего исчезают «хвосты данных» (экстремальные и редкие данные), что очевидно приводит к утрате многообразия результатов генераций. Таким образом, рост синтетических данных ведёт к деградации всей системы.

Причины сокращения человеческого контента

Риск сокращения человеческого контента связан с фундаментальным сдвигом цифровой культуры. Мы предлагаем разделить проявления этой культуры на три группы: – процессуальные (стратегии и тактики работы с информацией в Сети); – генеративные (стратегии и тактики создания информации); – агентные (кто выступает агентом информационного взаимодействия).

Процессуальные стратегии описывают то, как люди ищут информацию и в каких источниках. Встраивание ИИ-ассистентов в поисковые сервисы ускорило так называемый феномен zero-click («нулевой клик») – запросы, после выдачи результатов которых пользователь не совершает последующих кликов. Согласно данным исследовательской фирмы Datos, только в США доля таких запросов выросла с 24,4% в марте 2024 года до примерно 60–65% к середине 2025 года. Уже к началу 2026 года зафиксировано 68,01% запросов без клика [5]. Общей

тенденцией стало сокращение традиционного веб-серфинга и запросов на форумах. Первый большой скачок был связан с переходом на экосистемы мессенджеров. Теперь на их место пришли запросы в языковых моделях, что обусловлено вполне рациональной потребностью в сокращении издержек (в данном случае времени) [6].

Генеративные стратегии проявляются в том, что именно и какими инструментами генерируют в сети. Сюда же включается вопрос о росте синтетических данных. Интересно, что в философии И. Канта выделены синтетические суждения, которые невозможны без обращения к эмпирическому опыту (они же апостериорные) – очевидная противоположность синтетическому в дискурсе информационных наук.

Агентный блок описывает, кому или чему отдана привилегия создания в условиях, когда дискуссионным становится вопрос актуального различия генерации и креации. Конечно, генератор понимается как инструмент (та или иная модель), а креатор – тот, кто управляет этой моделью [7]. Но действительно ли это разграничение имеет место в среде, где уже функционируют мультиагентные системы, способные к самообучению (по типу RAG, к примеру)? Если человек не ставит перед собой задачу обучать систему ИИ или оценивать её результат, то насколько уместно отводить ему особую роль, которая сводится даже не к написанию промта, а к запросу в поисковой строке? Это чревато социальным обесцениванием на уровне потребителя (как совокупного определения читателя, слушателя, зрителя). Массовые призывы к внедрению систем ИИ для замены человеческой работы дают«карт-бланш» на пропаганду техно-оптимизма с лозунгом «неестественное лучше естественного».

К примеру, «по оценке руководителя лаборатории прикладного искусственного интеллекта СПб ФИЦ РАН Максима Абрамова, доля треков с признаками ИИ на «Яндекс Музыке» уже превышает 36% каталога, а портал TopHit.ru насчитал 13% нейросетевых композиций среди 500 самых прослушиваемых треков первого полугодия» [8]. Падение ценности человеческого контента напрямую влияет на мотивацию. Существует теория самодетерминации творчества, согласно которой авторы пишут ради внутренней мотивации (самовыражение, сообщество, творческая идентичность), а несанкционированное извлечение их труда как «сырья» для коммерческого продукта воспринимается как эксплуатация внутренне мотивированного труда – классический эффект вытеснения (crowding-out), только в перевёрнутом виде: не награда разрушает мотивацию, а бесправное извлечение ценности разрушает доверие к самому акту публикации. Отсюда логичным становится рост числа случаев претензий к разработчикам систем ИИ из-за ИИ-скрейпинга контента. Так, открытое письмо «Statement on AI Training» против ИИ-скрейпинга собрало около 20 000 подписей [9]; один из организаторов (Эд Ньютон-Рекс, экс-глава аудио-направления Stability AI) уволился из компании в знак протеста против использования защищённого авторским правом контента без лицензий, сославшись на пункт «о добросовестном использовании» как обходной путь, например, в законодательстве США.

Решения

В рамках одной статьи невозможно исчерпывающе ответить на вопрос, какие решения гарантированно нивелируют риск падения количества и качества контента, инфляцию новизны и в целом «коллапс модели». По аналогии с классификацией причин этой проблемы мы выделяем следующие группы возможных решений: – процессуальные: регулирование поведения пользователей через нормативные требования, технические пути, продуктовый опыт; – генеративные: поощрение человеческого контента, создание технических сред и условий для его генерации, заградительные меры для распространения ИИ-контента (дополнительные или пролонгирующие модерации, маркировки и т. д.); – агентные: формирование ценности авторского человеческого контента через эстетическое развитие, охранное отношение к человеческому достоинству и творчеству как элементу этого достоинства, закрепление в общественном сознании права человека на креативную деятельность.

На сегодняшний день уже формируется некоторая практика, которую мы можем соотнести с предложенной классификацией. Так, в Российской Федерации новейшим стал Федеральный закон № 243-ФЗ от 26.07.2026 [11], в котором также прописаны требования к обучению моделей на открытых данных, с запретом на использование данных, доступ к которым ограничен технически (в том числе через авторизацию). Авторские права как правовое выражение достоинства и права на творчество становятся предметом соглашений. Так, Reddit подписал соглашение с Google в феврале 2024 года на, предположительно, $60 млн в год, затем – с OpenAI. OpenAIзаключил сделки с Financial Times, Reddit, Stack Overflow, News Corp (на $250 млн за пять лет), Axios, Guardian, Washington Post и другие. News Corp получает приблизительно $50 млн в год за лицензирование контента компаниям в сфере ИИ. При этом финансовые компенсации идут только крупным игрокам: эти сделки в первую очередь выгодны корпоративным издателям, оставляя отдельных журналистов и авторов практически без прямой компенсации. Независимые авторы всё ещё остаются вне поля таких соглашений.

Выводы

На основании оценки трендов поведенческих стратегий пользователей информационных сред, академических исследований и аналитических заключений мы утверждаем, что риск сокращения человеческого контента и снижения новизны – реальная угроза тому образу системы Искусственного интеллекта, который отражает его вспомогательную и катализирующую функцию в сферах жизни человека. Тенденция к росту ценности синтетических данных как оптимизирующих время и «клики» потребителя приводит к обесцениванию автора. Существующие практики соглашений для монетизации авторского контента не решают проблему демотивации массового автора. При этом объективные факторы развития технологий детерминируют естественное снижение авторского контента: пользователи не обращаются к людям за ответами, так как люди отвечают дольше. Предложенная классификация причин снижения авторского контента позволит выстроить векторы их разрешения. Проведённый анализ показывает, что проблема истощения человеческого контента не сводится к техническому вопросу объёма данных, а закономерно перерастает в вопрос о статусе автора и природе творческого акта в условиях, когда генерация текста перестаёт быть исключительно человеческой прерогативой.

Предложенная трёхчастная классификация причин и решений – процессуальных, генеративных и агентных – демонстрирует, что ни одна изолированная мера (техническое регулирование, монетизация или правовая защита) не способна устранить риск деградации системы без одновременного восстановления ценностного отношения к человеческому творчеству как таковому. Существующие рыночные механизмы компенсации, обеспечивая частичную защиту интересов крупных правообладателей, оставляют неразрешённой ключевую проблему демотивации массового автора, чей вклад составляет основной объём человеческого контента в сети. Дальнейшая траектория развития систем искусственного интеллекта будет зависеть не столько от способности расширять обучающие датасеты, сколько от способности общества сохранить и институционально закрепить условия, при которых человек продолжает оставаться источником новизны.

Список литературы

1. Cowen, T. The Great Stagnation: How America Ate All the Low-Hanging Fruit of Modern History, Got Sick, and Will (Eventually) Feel Better / T. Cowen. – New York : Dutton, 2011. – 128 p.

2. Барт, Р. Смерть автора / Р. Барт ; пер. с фр. Г. К. Косикова // Барт, Р. Избранные работы: Семиотика. Поэтика. – Москва : Прогресс, 1989. – С. 384–391.

3. Villalobos, P. Position: Will we run out of data? Limits of LLM scaling based on human-generated data / P. Villalobos, A. Ho, J. Sevilla, T. Besiroglu, L. Heim, M. Hobbhahn // Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning. – Vienna : PMLR, 2024. – Vol. 235. – URL: https://proceedings.mlr.press/v235/villalobos24a.html (дата обращения: 01.09.2026). – Текст : электронный.

4. Shumailov, I. AI models collapse when trained on recursively generated data / I. Shumailov, Z. Shumaylov, Y. Zhao, Y. Gal, N. Papernot, R. Anderson // Nature. – 2024. – Vol. 631. – P. 755–759. – DOI: 10.1038/s41586-024-07566-y.

5. SparkToro. In 2026, Less than One Third of Google Searches Still Send a Click [Электронный ресурс] / SparkToro. – 2026. – 8 июня. – URL: https://sparktoro.com/blog/in-2026-less-than-one-third-of-google-searches-still-send-a-click/(дата обращения: 01.09.2026). – Текст : электронный.

6. Щеглова, М. И. К вопросу о субъектности в условиях внедрения инструментов искусственного интеллекта в образовательный процесс / М. И. Щеглова // Искусственный интеллект и математика в образовании : материалы трёх круглых столов, Москва, 14 мая – 11 нояб. 2024 г. – Москва : ИПП «КУНА», 2024. – С. 219–224. – Текст : электронный.

7. 70% треков из топ-100 в России занимают ИИ-песни [Электронный ресурс] // Hi-Tech Mail. – 2026. – URL: https://hi-tech.mail.ru/news/154287-70-trekov-iz-top-100-v-rossii-zanimayut-ii-pesni/ (дата обращения: 01.09.2026). – Текст : электронный.

8. Стукалов, С. Как попасть в ИИ-ответ поисковика: почему первой страницы уже недостаточно [Электронный ресурс] / С. Стукалов // Hi-Tech Mail. – 2026. – 1 сент. – URL: https://hi-tech.mail.ru/articles/154475-kak-popast-v-ii-otvet-poiskovika/ (дата обращения: 01.09.2026). – Текст : электронный.

9. Ryan, R. M. Self-Determination Theory: Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness / R. M. Ryan, E. L. Deci. – New York : Guilford Press, 2017. – 756 p. – ISBN 978-1-4625-2876-9.

10. Newton-Rex, E. Statement on AI training [Электронный ресурс] / E. Newton-Rex. – 2024. – URL: https://ed.newtonrex.com/statement-on-ai-training (дата обращения: 01.09.2026). – Текст : электронный.

11. О поддержке развития технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации : Федеральный закон от 26.07.2026 № 243-ФЗ [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс : справочно-правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_540336/ (дата обращения: 01.09.2026). – Текст : электронный.

УДК 32:81.001

WEB-ПРОСТРАНСТВО КАК АРЕНА ЯЗЫКОВОЙ ПОЛИТИКИ

Януш О.Б., к.п.н., доцент, заведующая кафедрой социологии, политологии и права;
ORCID: 0000-0002-5606-5984;
Мухарямов Н.М., д.п.н., профессор кафедры социологии, политологии и права ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-3810-824X

WEB SPACE AS AN ARENA OF LANGUAGE POLICY

Yanush O.B., PhD in Political Science, Associate Professor, Head of the Department of Sociology, Political Science, and Law;
ORCID: 0000-0002-5606-5984;
Mukharyamov N.M., Doctor of Political Sciences, Professor, Professor of the Department of Sociology, Political Science and Law, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-3810-824X

Аннотация

Интернет выступает относительно самостоятельным пространством или ареной языковой политики, создавая как новые возможности, так и новые вызовы для властно-управ-

ленческого воздействия на культурно-языковое многообразие. Формируется новая исследовательская повестка, связанная с изменением ракурсов внимания ученых в сторону актуальных задач в сфере новых технологических решений, применимых к сохранению языкового многообразия. Данный факт обусловливает важность выходов на уровни междисциплинарного синтеза с участием специалистов в области языкознания, политологии, социолингвистики и специалистов в области информационных технологий. Цель статьи – поставить проблемные вопросы, возникающие при осмыслении явлений и процессов, происходящих в новой среде языковой политики. Среди них проблема методологии исследований, расширения понятийного аппарата языковой политики, технические проблемы измерения культурно-языкового многообразия в сети, что может послужить отправной точкой для политики противодействия маргинализации языков и цифрового языкового планирования; актуальность и адекватность прежних инструментов языковой политики, аналитических дилемм языкового регулирования, состав акторов языковой политики, потребность в новых формах. Авторы описывают один из вариантов периодизации исследований языковой политики с учетом технологического развития и делают вывод о том, что проблемное поле языковой политики артикулируется по-новому.

Ключевые слова: языковая политика, веб-пространство, цифровизация, информационно-коммуникационные технологии, культурно-языковое многообразие

Abstract

The Internet is emerging as a relatively independent space or arena for language policy, creating both new opportunities and challenges for government influence on cultural and linguistic diversity. A new research agenda is emerging, driven by a shift in scholarly focus on pressing issues in the field of new technological solutions applicable to the preservation of linguistic diversity. This fact underscores the importance of interdisciplinary synthesis involving specialists in linguistics, political science, sociolinguistics, and information technology. The aim of this article is to address problematic issues arising in understanding the phenomena and processes occurring in the new language policy environment. These include research methodology, expanding the conceptual framework of language policy, and technical challenges in measuring cultural and linguistic diversity online. These issues can serve as a starting point for policies to counteract the marginalization of languages and digital language planning. The relevance and adequacy of existing language policy instruments, the analytical dilemmas of language regulation, the composition of language policy actors, and the need for new forms. The authors describe one possible periodization of language policy research, taking into account technological developments, and conclude that the problematic field of language policy is being articulated in a new way.

Keywords: language policy, web space, digitalization, information and communication technologies, cultural and linguistic diversity

Введение

Интернет все более зримо становится ареной соотнесения различных интересов и инструментом языкового регулирования [1, с. 248-249]. Он выступает средой для мер публично-политического характера и разноплановых усилий в сфере национально-языковых отношений как традиционных агентов макроуровня, так и социальных акторов, осуществляющих деятельность по изменению языковых практик онлайн. Совершенно определенно, что будущее языкового многообразия, место и роль языков в инфраструктуре социальных коммуникаций в средне- и долгосрочной перспективе будет определяться новыми медиа.

Методика и основная часть

Аналитическое осмысление этой сферы языковой политики обусловливает учет ряда обстоятельств:

– исходной теоретико-методологической установкой могут служить два подхода к изучению Интернета: различие между Интернетом как интерактивным пространством и Интернетом как хранилищем текстов [2, p. 21]. Первое относится к тому, что можно было бы назвать диалогической сетью, создающей пространство для социального взаимодействия, в основе которого лежат технологии Web 2.0 [3, с. 86]. Они ориентированы на равноправное предоставление возможностей и многоязычие, предполагают коллективное создание и редактирование информации самими пользователями. Этот контекст наиболее очевиден для изучения языковой политики «снизу – вверх». Интернет как хранилище текстов связан с монологической сетью – часто в значительной степени статичных текстов: индивидуальные домашние страницы, корпоративные сайты, новости, поисковые системы и т.д. Монологическая коммуникация, как таковая, ближе к традиционным медиа, предполагающим коммуникацию «одного – ко – многим» на основе технологий Web 1.0. Она позволяет исследовать вопросы, связанные с языковой политикой «сверху – вниз»;

– информационно-коммуникационная сеть сама по себе становится областью применения принципов, подходов и инструментов языковой политики – государства и всего разнообразия институциональных (и не институциональных) акторов, не являющихся правящими или публично-официальными, не обладающих специальными мандатами и полномочиями. В этой связи к практике сознательного влияния разнородных субъектов на языковое устройство общества в контексте меняющейся среды приложима методология сетевой публичной политики. Она заключается в конвергенции публичного пространства и цифровых технологий, или – «одновременно процесс и результат взаимодействия широкого круга разнообразных социально-политических акторов, использующих сетевые ресурсы и технологии для выработки решений проблем общественной значимости и их интеграции в управленческую практику» [4, с. 250-251];

– расширение понятийного аппарата политико-управленческого воздействия на языковое многообразие, выражающееся в появлении новых терминов: языковая политика онлайн, цифровая витальность языка, цифровое языковое многообразие, цифровой языковой ландшафт, цифровые языковые ресурсы, цифровая языковая инфраструктура, малоресурсные языки и многое другое [5, с. 30-53];

– технические проблемы измерения языкового многообразия в Интернете – индикаторы сетевого присутствия языков, имеющие фундаментальное значение для любой языковой политики и помогающие объективно определять текущее положение дел, отслеживать тенденции и оценивать последствия. Имеющиеся на сегодня количественные наблюдения за эволюцией языков в киберпространстве обладают релевантной исследовательской значимостью и свидетельствуют о существовании обратно пропорциональной связи между Интернетом и языковым разнообразием мира. Иными словами, Интернет лингвистически менее разнообразен, чем «реальный мир», и не является зеркальным отражением лингвистического разнообразия мира [6, p. 116] по ряду причин, включая проникновение Интернета.

Один из ведущих зарубежных специалистов по изучению языковой политики К. Холмс отмечает: «Роль информационно-коммуникационных технологий в языковой политике – это недостаточно изученная область исследований, заслуживающая дальнейшего изучения… Если рассматривать технологии просто как способ реализации языковой политики, разработанной правительством, – хотя это лишь один из аспектов, – мы упустим фундаментальный сдвиг, произошедший с точки зрения роли агентности в языковой политике» [7]. Она же предлагает схематический обзор этапов исследований языковой политики с учетом влияния на нее технологического развития (табл. 1).

Примечательно, что наступивший этап исследований языковой политики 4.0 (LP 4.0/ ЯП 4.0) содержит больше вопросов о представлениях о политике и языке, перспективах агентности, нежели прямых ответов.

Таблица 1

Схематический обзор развития исследований, посвященных языковой политике и планированию (ЯПП) [7]

Эра в исследовании ЯПП	**Объединения и агенты, входящие в анализ ЯПП**	**Эмпирические инструменты и подходы к практикам и представлениям**	**Представления о политике и языке Перспективы структуры/агентности** ***Типичный слоган***
ЯП 1.0	Основанные на территории нации-государства и автохтонные языковые сообщества	Документарный анализ и описание; количественные исследования практики Убеждения, выведенные/предположенные на основе данных переписей населения, опросов и интервью	Эксперты влияют на политику, принимаемую сверху вниз, в конкретных географических регионах Языковая сегрегация Активная позиция принадлежит лицам, принимающим политические решения; особое внимание уделяется структуре *Язык – это инструмент для решения проблем в обществе, и сам по себе он является решаемой проблемой для правительств, школ и т. д.*
ЯП 2.0	+ Транснациональные коммерческие корпорации	Больше наблюдений и этнографический исследований в таких учреждениях как школы Изучение практик с целью понимания политик (и убеждений)	Неявная/де факто политика Языки разделены (с гиперцентральным, суперцентральным, центральным или периферийным статусом) Объекты политики обладают определенной, хотя и ограниченной, агентностью Язык является (разрешимой) проблемой для международного бизнеса
ЯП 3.0	+ индивиды и языковые сообщества микроуровня	Виртуальный этнографический и компьютерно-опосредованный микроуровневый дискурс-анализ Нормативность управления и языковая идеологическая практика	Критический анализ результатов языковой политики Интеграция языков (в сверхразнообразном «гиперлингвистическом обществе») Особое внимание уделяется агентности местных акторов, поскольку пользователи сами создают контент *Индивиды объединяются для решения своих языковых проблем с помощью технологий и рынка*

Окончание табл. 1

Эра в исследовании ЯПП	**Объединения и агенты, входящие в анализ ЯПП**	**Эмпирические инструменты и подходы к практикам и представлениям**	**Представления о политике и языке Перспективы структуры/ агентности** ***Типичный слоган***
ЯП 4.0	+ полная/ частичная автоматизация посредством ИИ	Всё вышеперечисленное плюс новые методы? Алгоритмическая рефлексивность	Более ограниченные масштабы для «проективной» политики? Но, возможно, больший итеративный акцент на основе существующих политик, доступных в интернете? Интеграция языков (в индивидуализированном идиолингвистическом подходе)? Агентность алгоритмов? *Автономные технологии предвидят и решают наши языковые проблемы на индивидуальном уровне?*

Среди них следующие:

– насколько актуальны и адекватны прежние инструменты языковой политики и планирования в условиях цифровизации? И далее – приложимы ли широко используемые аналитические дилеммы языкового регулирования – «сверху-вниз» VS «снизу-вверх», явные VS неявные формы проведения политики, «де-юре» VS «де-факто» способы оформления к языковой политике онлайн?

– состав акторов языковой политики в новых условиях и их мотивации? Медиа будут переплетены со всем: не только с новостями, информацией, участием в общественных делах или развлечениями, к которым мы привыкли; но и с вождением или поездками на автомобилях, покупками, знакомствами, спортом, развлечениями и т. д., а также другими функциями и практиками информационного общества и Интернета вещей. Большая часть всего этого по-прежнему будет осуществляться на языке. Но на *каком* языке? *Кто* (или что) будет управлять имеющимися языковыми репертуарами – и *как*? [8, p. 518];

– есть ли необходимость в перепрофилировании прежних режимов языкового регулирования или потребность в новых/альтернативных формах языковой политики и планирования? – пока не получили развернутого концептуального оформления в рамках политической науки и обусловливают потребность в дальнейших исследованиях.

В то же время новейшая стадия научного и экспертного освоения предметного поля языковой политики в Российской Федерации демонстрирует заметное приращение и прикладных разработок в исследовании вопросов цифровизации языков народов России. Примечателен тот факт, что сразу несколько заседаний в 2024 году заметного в российском политико-языковом дискурсивном пространстве Дискуссионно-аналитического клуба Института языкознания РАН было посвящено проблемам и новым возможностям, которые открывают информационно-коммуникационные технологии для языков России. Прозвучали доклады, посвященные открытым Интернет-энциклопедиям, помощи искусственного интеллекта в сохранении языков, сервисам и технологиям компании «Яндекс», цифровым решениям для под-

держки татарского языка и т.д. [9]. Начиная с 2020 года перспективы и вызовы цифровизации для языков России стали постоянным направлением в рамках ежегодного форума «Языковая политика в Российской Федерации», проводимого Федеральным агентством по делам национальностей [10]. Принимая во внимание основное назначение Форума – быть площадкой для диалога между ключевыми участниками реализации российской языковой политики – это не только полезное начинание в деле осмысления цифровых вызовов, но и формат поиска *определяемого объекта* сознательного регулирования для политиков и органов государственной власти в новых контекстах языковой политики. Иными словами, аналитические ракурсы, представленные в докладах ученых, практиков, активистов, могут быть ответом на вопрос, что могут сделать лица, принимающие решения, и регулирующие органы в сфере целенаправленного воздействия на языковую жизнь в условиях стремительно растущего влияния цифровых технологий.

Выводы

Властно-управленческое воздействие на языковое устройство сочетает в себе построение единого, связанного информационно-коммуникационного пространства в условиях цифровизации, с одной стороны, и поддержку, сохранение и развитие языкового многообразия, с другой. В силу центральных позиций информационно-коммуникационных технологий во всех аспектах социальной, политической, культурной и экономической жизни, включая отношения по поводу языкового устройства и языкового функционирования, по-новому артикулируется проблемное поле языковой политики.

Список литературы

1. Мухарямов Н.М., Януш О.Б., Шакурова Г.З. К вопросу о языковой политике on line: дискурсивные аспекты // Цифровая трансформация в этнокультурном образовании: вызовы современности: Сборник материалов Международного научно-педагогического форума, Йошкар-Ола, 03–05 октября 2019 года / Под редакцией С.Н. Федоровой. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2019. – С. 248-252.

2. Kelly-Holmes K. Analyzing Language Policies in New Media // Research Methods in Language Policy and Planning: A Practical Guide, First Edition. Edited by Francis M. Hult and David Cassels Johnson. 2015. John Wiley & Sons, Inc. Published 2015 by John Wiley & Sons, Inc. Pp. 130-139. URL: https://www.academia.edu/15571297/Anayzing_Language_Policies_in_New_Media (дата обращения: 27.08.2026).

3. Баранова В.В. Языковая политика без политиков: языковой активизм и миноритарные языки в России. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2023. С. 86 (238 с.) https://doi.org/10.17323/978-5-7598-2580-7

4. Мирошниченко И.В. Сетевая публичная политика // Публичная политика: Институты, цифровизация, развитие: Коллективная монография / Под ред. Л.В. Сморгунова. – М.: Аспект Пресс, 2018. – С. 250-251.

5. Януш О.Б. Языковая политика онлайн в региональных измерениях // Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки. – 2023. – № 4. – С. 30-53. – DOI 10.24412/2071-6141-2023-4-30-53.

6. Soria C. Towards a Notion of "Digital Language Diversity" // Linguistic and Cultural Diversity in Cyberspace. Proceedings of the 3rd International Conference (Yakutsk, Russian Federation, 30 June – 3 July, 2014). – Moscow: Interregional Library Cooperation Centre, 2015.

7. Kelly-Holmes H. Language policy 4.0: Agency, readiness and relevance in an increasingly automated future. 2023 // https://wpull.org/wp-content/uploads/2023/03/WP309-Kelly-Holmes-2023.-Language-Policy-4.0.pdf (дата обращения: 30.08.2026).

8. McGonagle T and Moring T. Language Policy and Regulation in the Old and New Media // The Routledge Handbook of Language Policy and Planning. Edited by Michele Gazzola, François Grin, Linda Cardinal, and Kathleen Heugh. – London and New York: Routledge, 2024. – P. 510-522.

9. 42-е заседание Дискуссионно-аналитического клуба по вопросам языковой политики (онлайн) // https://iling-ran.ru/web/ru/workshops/250318_daclp (дата посещения: 20.08.2026).

10. Сборник материалов форума «Языковая политика в Российской Федерации». – М., 2022. – 180 с. // https://fadn.gov.ru/press-centr/news/v-moskve-sostoyalsya-v-yubilejnyij-forum-«yazyikovaya-politika-v-rossijskoj-federaczii»/file-download/l-z0859j8j9n8tesjpb0h68evjiqv-3v (дата посещения: 20.08.2026).

УДК 37.013

МЕТОДОЛОГИЯ ИНТЕГРАЦИИ КУЛЬТУРНОГО КОДА В ЦИФРОВУЮ ПРОЕКТНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ИНОСТРАННЫХ УЧАЩИХСЯ НА ДОВУЗОВСКОМ ЭТАПЕ ОБУЧЕНИЯ

Яхина Д.И., к.ф.н., доцент;
Шакирзянова Д.Р., к.т.н., заведующий отделом науки и аспирантуры, ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», г. Казань, Россия

METHODOLOGY FOR INTEGRATING THE CULTURAL CODE INTO DIGITAL PROJECT ACTIVITIES OF FOREIGN STUDENTS AT THE PRE-UNIVERSITY STAGE OF EDUCATION

Yakhina D.I., Candidate of Philological Sciences, Associate Professor;
Shakirzianova D.R., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Science and Postgraduate Studies, Kazan State Institute of Culture, Kazan, Russia

Аннотация

В статье описывается, как культурный код может быть внедрен в цифровую проектную деятельность иностранных обучающихся на довузовском этапе. Тема продиктована ситуацией, в которой массовая цифровизация обучения сопровождается ослаблением традиционных ценностных ориентиров. Ставится задача – обоснование методологических условий содержательного – не формального – включения культурных элементов в учебные цифровые проекты. Опорой послужили культурно-исторический подход, семиотический анализ и проектная дидактика. Разрабатывается модель из трёх уровней: содержательного, технологического, рефлексивного; механизмы перевода культурных смыслов в цифровые артефакты демонстрируются на учебных практиках.

Ключевые слова: культурный код, цифровая проектная деятельность, довузовское образование, цифровая образовательная среда, культурная идентичность, проектная дидактика, цифровая трансформация образования, этнокультурный компонент, педагогическое посредничество, цифровые артефакты

Abstract

This article describes how a cultural code can be integrated into the digital project-based activities of international students at the pre-university level. This topic arises from a situation in which the widespread digitalization of education is accompanied by a weakening of traditional value orientations. The objective is to substantiate the methodological conditions for the substantive–not formal–inclusion of cultural elements in educational digital projects. This article draws on a cultural-historical approach, semiotic analysis, and project-based didactics. A three-level model is developed: substantive, technological, and reflective. Mechanisms for translating cultural meanings into digital artifacts are demonstrated through educational practices. Keywords: cultural code, digital

project-based activities, pre-university education, digital educational environment, cultural identity, project-based didactics, digital transformation of education, ethnocultural component, pedagogical mediation, digital artifacts.

Keywords: cultural code, digital project activity, pre-university education, digital educational environment, cultural identity, project didactics, digital transformation of education, ethnocultural component, pedagogical mediation, digital artifacts

Введение

Современная система образования переживает этап глубокой цифровой трансформации, затрагивающей не только организационно-технологические аспекты образовательного процесса, но и его содержательно-ценностные основания. Цифровая образовательная среда открывает новые возможности для проектной деятельности обучающихся, однако одновременно несет риски размывания традиционных культурных кодов, транслируемых посредством образования. Как справедливо отмечают исследователи, аксиологическая природа, пространственно-временные, содержательные и коммуникативные характеристики цифровой образовательной среды являются основными детерминантами возможной трансформации национального культурного кода [4].

Данная проблема приобретает особую значимость на довузовском этапе обучения, когда у инофона формируются базовые ценностные ориентации и культурная идентичность [3]. В условиях виртуализации коммуникации и возрастания роли цифровых медиа возникает потребность в методологическом обосновании путей смысловой интеграции культурного кода в образовательный процесс. Проектная деятельность как одна из ведущих форм организации учебной работы в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов представляет собой оптимальную площадку для решения данной задачи, поскольку позволяет сочетать теоретическое освоение культурных смыслов с их практическим преобразованием в цифровые артефакты.

Целью данного исследования является разработка и обоснование методики интеграции культурного кода в цифровую проектную деятельность иностранных обучающихся на довузовском этапе.

Методологические основания

Теоретический фундамент исследования базируется на синтезе трех подходов.

1) Культурно-исторический подход рассматривает культурный код как систему смысловых знаков, включенных в исторический процесс того или другого народа;

2) Семиотический анализ культурного кода позволяет определить его символическое значение;

3) Проектная дидактика, которая не даёт рассуждению остаться абстракцией: смысл усваивается тогда, когда за ним стоит действие и осязаемый результат, сделанный руками самого ученика.

Культурный код, по мнению авторов [2], представляет собой набор информационных маркеров, с помощью которого человек «читает» культуру и отвечает за то, что в ней происходит. Ценности (духовные и материальные), родной язык, привычные способы восприятия времени и пространства, устойчивые модели поведения – всё это его составляющие.

Материалом исследования являлись проекты, выполненные на подготовительном отделении Казанского государственного института культуры.

Культурный код в условиях цифровой трансформации

Термин «культурный код» в педагогической наукен уже прочно закрепился, но точное определение остается дискуссионным. Под культурным кодом в контексте данного исследования понимается совокупность информационных маркеров, позволяющих человеку адекватно воспринимать и реагировать на происходящие в культуре пространственно-временные процессы. Культурный код аккумулирует основные черты культуры, выраженные в ценностях

(духовных и материальных), языке, особенностях мировоззрения и поведения. Он является междисциплинарным феноменом, который одновременно принадлежит сферам культурологии, семиотики, педагогики и информатики.

Важно рассматривать культурный код не как «сухой» набор культурологических фактов, а как активно развивающуюся систему, способную трансформироваться в эпоху цифровых изменений [1].

На сегодняшний день большую роль играет цифровая лингводидактика, в том числе в обучении иностранных граждан. По нашему мнению, одним из эффективных инструментов обучения и аккультурации иностранных обучающихся, в частности иностранных слушателей подготовительного отделения, является цифровая проектная деятельность.

На основе проведенного анализа подготовленных иностранными слушателями цифровых проектов нами выделена модель интеграции ключевых смыслов культурного кода страны изучаемого языка. Данная модель включает ряд уровней: содержательный, технологический, рефлексивный. По данной модели обучающийся проходит стадии от отбора и структурирования материала до анализа и интерпретации культурного феномена.

В этой модели педагог становится медиатором, связывающим наследие прошлого с технологиями будущего. Его компетенции теперь включают не только предметные знания (история, искусство), но и глубокое понимание цифровых инструментов, а также методический навык «сшивания» этих миров в единый образовательный процесс. Исследования О.В. Яковлевой [6] подтверждают: профессиональная подготовка педагогов должна включать вопросы работы с национальным культурным кодом именно в цифровом пространстве.

Итоги апробации

Практический опыт, полученный на подготовительном отделении, показывает эффективность подобного подхода. Междисциплинарный синтез предметов (от литературы до виртуальных технологий) создает среду, где культурное содержание и цифровые формы существуют в органическом единстве.

Обучающиеся создают не просто цифровые продукты, а осмысленные культурные артефакты, несущие код города, в котором они учатся и живут.

В одном из проектов, где генеративный искусственный интеллект может использоваться для смысловой интеграции традиционного культурного кода с современными цифровыми стилями (киберпанк, пиксель-арт, векторный минимализм и др.), мы видим иную грань проектной деятельности. Важно, что в этом опыте акцент делался не на техническую сторону генерации, а на содержательную: студенты изучали символику народов России, формулировали точные промпты на русском языке, объясняли вложенный семантический код [5].

Проект «По дорогам большой страны» демонстрирует эффективность синтеза локального и универсального культурного кода. Комплексная педагогическая модель, включающая экскурсию, театральное представление, мастер-классы и интерактивную дискуссию, позволила охватить более 100 участников и показала целесообразность использования в методических целях данного подхода [7].

Выводы

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы. Культурный код в контексте цифрового образования представляет собой динамическую систему ценностных ориентаций и смысловых маркеров, требующую осмысленной трансляции в цифровой образовательной среде. Риски непонимания культурного кода в цифровой образовательной среде могут быть компенсированы целенаправленной методической работой.

Цифровая проектная деятельность является оптимальной формой интеграции культурного кода в образовательный процесс на довузовском этапе, поскольку позволяет сочетать теоретическое освоение культурных смыслов с их практическим преобразованием в цифровые артефакты, а также создает условия для личностного присвоения культурных ценностей.

Предложенная трехуровневая модель интеграции обеспечивает системный подход к встраиванию культурного кода в структуру цифровых проектов и может быть адаптирована к различным языковым уровням подготовки.

Ключевая роль в реализации модели принадлежит педагогу как медиатору между традиционным культурным наследием и современной цифровой средой, что требует специальной подготовки как в культурном, так и в технологическом компонентах профессиональной компетентности, включая поликультурную и цифровую.

Апробация элементов модели в образовательных практиках подтверждает ее эффективность и открывает перспективы дальнейших исследований в области методологии интеграции культурного кода в цифровое образование.

Список литературы

1. Барышева Т.А., Носкова Т.Н. Концепция трансформации мировоззрения студентов в цифровой образовательной среде // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2024. – № 214. – С. 150–160. – DOI: 10.33910/1992-6464-2024-214-150-160.

2. Васильев Н.А., Комиссаров С.Н. Культурный код. Новые поколения российской молодежи // ПОИСК: Политика. Обществоведение. Искусство. Социология. Культура. – 2020. – № 5 (82).

3. Вяткин Б.А., Хотинец В.Ю., Кожевникова О.В. Межпоколенная трансмиссия ценностей в современном поликультурном мире // Образование и наука. – 2022. – № 1. – С. 135–162. – DOI: 10.17853/1994-5639-2022-1-135-162.

4. Горбачёва И.М., Шангина О.В., Пудина С.И. Национальные культурные коды в эпоху цифровизации // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2023. – № 4 (40). – С. 1–10.

5. Ситдикова Г.Р., Малахова Л.А., Серова З.Н. Иммерсивные технологии и культурный код: новый подход к воспитанию при обучении английскому языку // Технопарк универсальных педагогических компетенций : материалы Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участ. (Чебоксары, 5 марта 2026 г.). – Чебоксары : ИД «Среда», 2026. – С. 423–425.

6. Яковлева О.В. Национальный культурный код в цифровой образовательной среде: новые задачи профессионального воспитания будущих педагогов // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2025. – Т. 10. – Вып. 11. – С. 1–12. – DOI: 10.30853/ped20250213.

7. Яхина Д.И., Шакирзянова Д.Р. Программы обучения с использованием арт-технологий для иностранных слушателей подготовительного отделения творческих вузов // Социально-культурная деятельность: векторы исследовательских и практических перспектив : материалы Междунар. науч.-практич. конф. (Казань, 18–19 декабря 2025 г.). – Казань : Казанский государственный институт культуры, 2025. – С. 479–483. – EDN: RIRJNR.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

УДК 631:004

DIGITAL TECHNOLOGY INTEGRATION IN THERMOCHEMICAL PROCESSING OF POULTRY MANURE

Barysheva O.B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-5014-7540;
E-mail: obbars@gmail.com;
Ziganshin A.M., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies in Construction, Kazan State University of Architecture and Engineering, Professor of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-7335-7797;
E-mail: amziganshin@kgasu.ru

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕСС ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА

Барышева О.Б., к.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-5014-7540;
E-mail: obbars@gmail.com;
Зиганшин А.М., д.т.н., доцент кафедры информационных систем и технологий в строительстве ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», профессор Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-7335-7797;
E-mail: amziganshin@kgasu.ru

Abstract

The necessity of transitioning from conventional poultry manure management methods – characterized by high nitrogen losses, incomplete sterilization, and a substantial carbon footprint – toward hybrid thermochemical processing with deep integration of digital control technologies is substantiated. A seven-stage technological scheme is proposed, comprising mechanical dewatering, hydrothermal treatment with liquid fraction concentration, drying, fast fluidized-bed pyrolysis, vapor-gas mixture separation, biochar impregnation with the concentrated liquid, and an energy recovery unit utilizing syngas. The key distinctive feature of the developed scheme lies in stream splitting: the nitrogen-rich liquid fraction follows a low-temperature pathway, while carbon and phosphorus undergo high-temperature treatment, enabling the recovery of up to 70 % of the initial nitrogen in the final product. The digital control loop integrates a neural network model for feedstock composition prediction based on near-infrared spectroscopy, a digital twin of the pyrolysis chamber with a multi-sensor infrastructure, and a machine vision system for granule quality assessment. This ensures adaptive adjustment to variable manure composition and reduces operational risks through predictive maintenance. Material balance calculations confirm a manifold reduction in waste mass, the production of a balanced organo-mineral fertilizer, recovery of water for technical purposes, and a high degree of process energy self-sufficiency. Comparative analysis demonstrates a significant reduction in greenhouse gas emissions, complete elimination of liquid effluents and odors, as well

as full product sterilization. Promising development directions include microwave-assisted pyrolysis, plasma-based gas cleaning, and staged drying with ammonium sulfate recovery.

Keywords: biochar, utilization, hybrid pyrolysis unit, carbon footprint, organic waste

Аннотация

Обоснована необходимость перехода от обычных методов утилизации птичьего помета, характеризующихся высокими потерями азота, неполной стерилизацией и значительным углеродным следом, к гибридной термохимической переработке с глубокой интеграцией цифровых технологий управления. Предложена технологическая схема, включающая семь последовательных блоков: механическое обезвоживание, гидротермическую обработку с упариванием жидкой фракции, сушку, высокоскоростной пиролиз в кипящем слое, разделение парогазовой смеси, пропитку биочара упаренным концентратом и энергетический блок с утилизацией синтез-газа. Основное отличие разработанной схемы заключается в разделении потоков: азотсодержащая жидкая фракция направляется по низкотемпературному пути, тогда как углерод с фосфором проходят высокотемпературную обработку, что позволяет возвращать до 70 % исходного азота в конечный продукт. Цифровой контур управления объединяет нейросетевую модель прогнозирования состава сырья на основе спектрометрии в ближней инфракрасной области, цифровой двойник пиролизной камеры с многоканальной сенсорной инфраструктурой и систему технического зрения для контроля качества гранул, обеспечивая адаптацию режимов к переменному составу помета и снижение эксплуатационных рисков за счет предиктивного обслуживания. Материальный баланс подтверждает кратное сокращение массы отходов, получение сбалансированного органоминерального удобрения, возврат воды на технические нужды и высокую степень энергетической автономности процесса. Сравнительный анализ указывает на существенное снижение выбросов парниковых газов, отсутствие жидких стоков и запаха, а также полную стерилизацию продукта. Перспективные направления развития включают микроволновый пиролиз, плазменную очистку газов и ступенчатую сушку с получением сульфата аммония.

Ключевые слова: биочар, утилизация, гибридная пиролизная установка, углеродный след, органические отходы

Introduction

Poultry farming is one of the fastest-growing sectors of the agro-industrial complex, yet it generates considerable volumes of organic waste. Conventional manure management practices suffer from fundamental drawbacks that, in the current era of digital transformation, are increasingly becoming environmental liabilities [1, 2].

Direct incineration at 900-1200°C leads to complete mineralisation of organic matter and the total loss of nitrogen; anaerobic digestion requires a 7- to 10-day retention period and does not guarantee full sterilisation; and open-field storage results in uncontrolled methane emissions and groundwater contamination, with a carbon footprint ranging from 800 to 1,200 kg CO_2-eq/t of feedstock [3-5].

The present study aims to provide a theoretical rationale for – and to analyse – a hybrid processing scheme for poultry manure that can preserve nitrogen, phosphorus, and potassium in the final product, ensure complete sterilisation of the raw material, achieve energy self-sufficiency, and minimise noxious gaseous emissions and liquid effluents.

The novelty lies in digital integration, transforming a waste-disposal unit into an intelligent production system. Unlike existing solutions [5], in which operating parameters are fixed and unable to accommodate the inherent variability of the feedstock, the proposed installation constitutes a system where every technological variable is digitised, continuously analysed, and adjusted in real time.

This is particularly critical in agricultural settings, where the composition of raw manure fluctuates with bird age, diet, season, and housing system; and it is precisely this adaptive capability that provides the key competitive advantage over conventional alternatives.

Fig. 1 presents a radar chart comparing four poultry manure processing technologies across seven criteria: nitrogen retention, sterilisation efficiency, energy self-sufficiency, absence of liquid effluents, odour control, processing speed, and environmental performance (greenhouse gas emission reduction). Each criterion is scored on a 100-point scale, where 100 denotes the best possible performance.

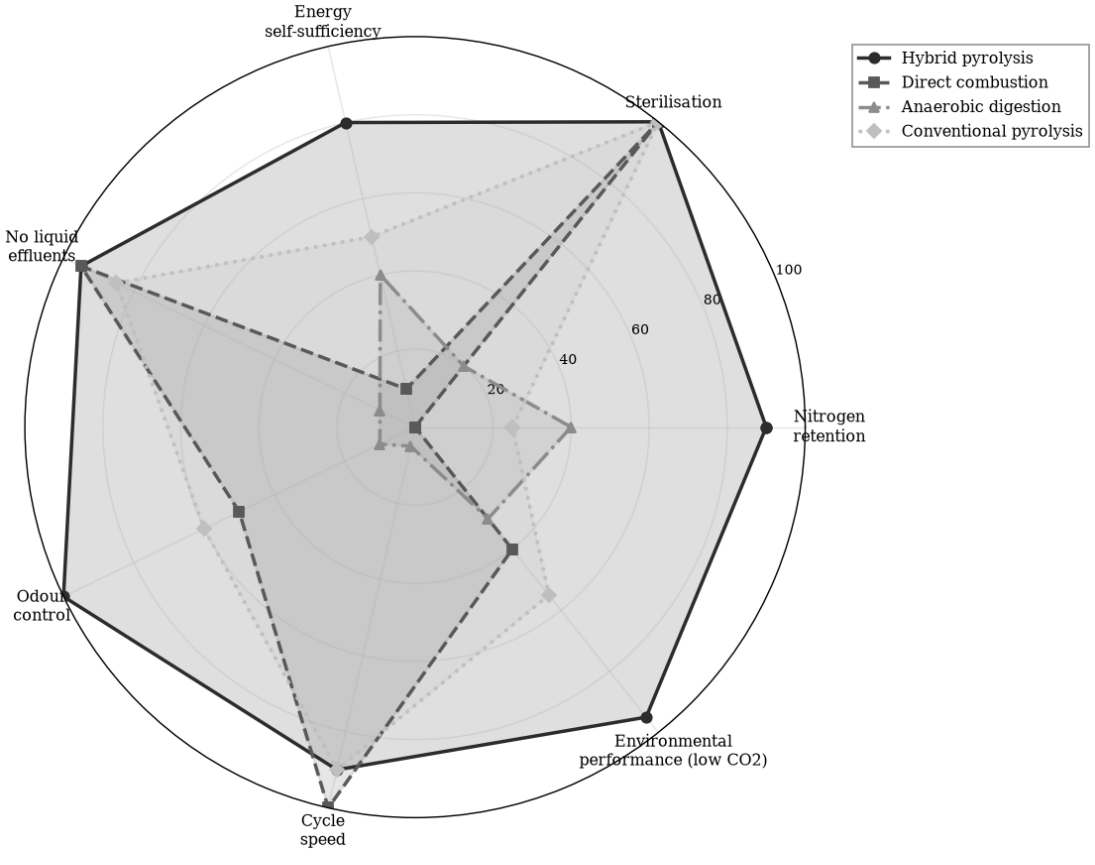


Fig. 1. Comparative evaluation of poultry manure treatment technologies

The hybrid pyrolysis system exhibits the most balanced profile, with the largest enclosed area on the chart, indicating that it has no critical shortcomings relative to the alternative methods. Direct combustion scores high on sterilisation and speed but shows zero nitrogen retention and poor energy self-sufficiency [6, 7]. Anaerobic digestion displays marked deficiencies in sterilisation, effluent and odour management, and has the slowest throughput. Conventional pyrolysis without nitrogen recovery occupies an intermediate position, falling short of the hybrid scheme in both nitrogen retention and overall environmental friendliness [8]. Thus, the radar chart clearly demonstrates that only the hybrid technology simultaneously satisfies all the requirements of a modern organic waste treatment system.

Nevertheless, translating this approach into practice requires addressing a number of specific issues concerning temperature regime selection, flow calculation, comparative efficiency assessment, and identification of potential risks [9, 10].

To achieve the stated objective, the present work addresses the following tasks:

Determining the optimal pyrolysis temperature regime that balances three key factors: complete feedstock sterilisation, process energy efficiency, and preservation of nutrient elements–particularly nitrogen, which begins to volatilise intensively above 200 °C.

Developing a material balance for a 5 t/h (wet manure) plant with an initial moisture content of 70 %, encompassing all input and output streams: raw manure, mechanically separated liquid fraction, dewatered solid residue, distilled water, pyrolysis gas, and the finished fertiliser product (biochar enriched with evaporated liquid concentrate).

Conducting a comparative analysis of the proposed hybrid technology against alternative poultry manure processing methods–direct combustion, anaerobic digestion, and conventional pyrolysis without nitrogen recovery–based on nutrient retention, sterilisation efficiency, liquid effluent generation, cycle time, energy self-sufficiency, and capital costs.

Identifying technological constraints and risks, including high initial feedstock moisture, nitrogen losses at elevated temperatures, hazardous gas emissions, ash content and sintering of mineral components, fire and explosion hazards, and material corrosion, along with strategies to mitigate these issues through digital process control and predictive maintenance.

Methods

The digital model of the unit integrates a neural-network module for feedstock composition prediction, a digital twin of the reactor, and a machine vision system. The simulations were performed using data derived from pyrolysis studies [3-5].

No physical prototype of the unit was constructed at this stage; all results were obtained using the digital twin, which enabled multi-scenario calculations and optimisation of the process flow without the expense of full-scale experimental equipment.

The unit (Fig. 2) comprises seven process modules interconnected by material handling systems and governed by an automated control system based on a programmable logic controller (PLC). It also includes a three-stage flue-gas treatment train. Each module is equipped with an extensive sensor network, transforming mechanical hardware into an integral element of the facility's digital ecosystem.

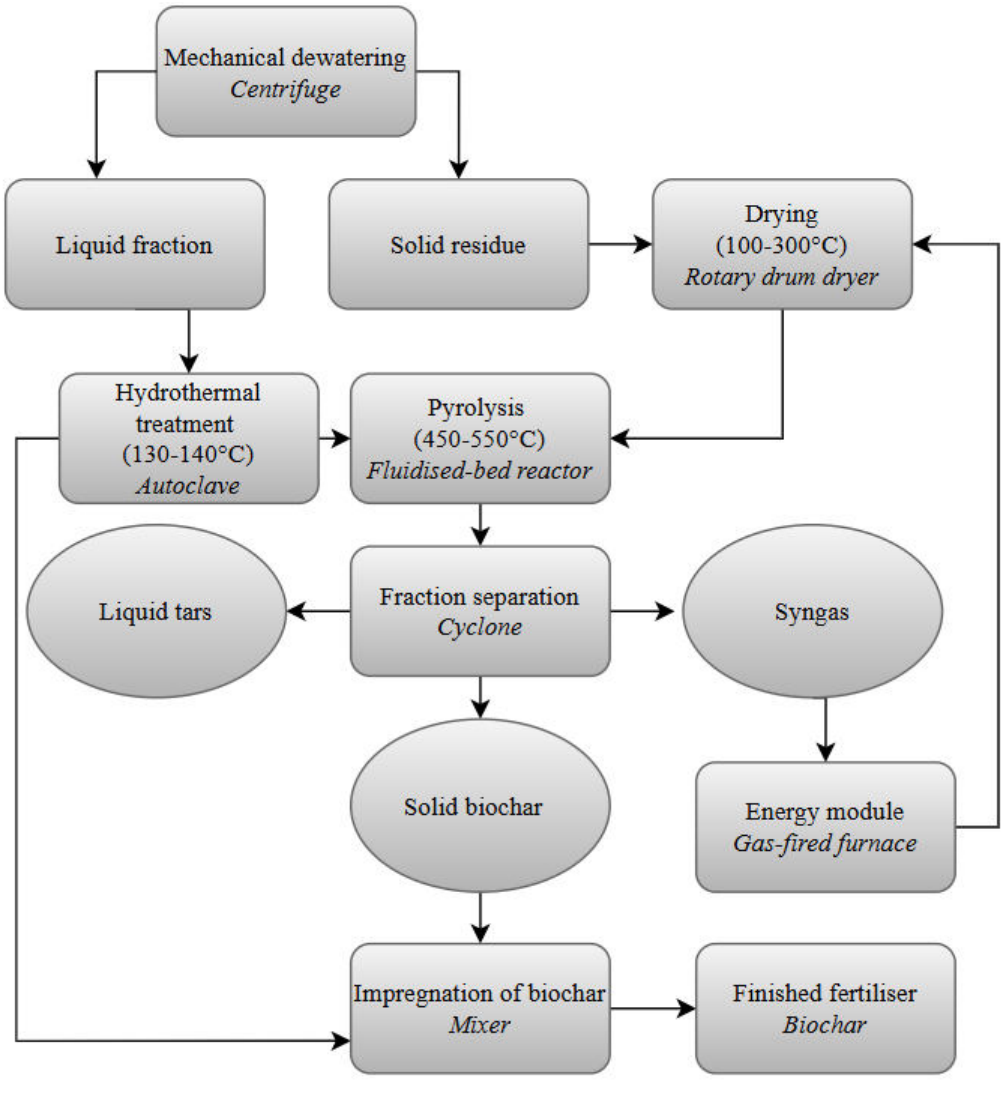


Fig. 2. Process flow diagram of the hybrid pyrolysis unit for processing poultry manure

The mechanical dewatering module receives raw poultry manure with a moisture content of 70 % and reduces it to 50-55 % using a filter centrifuge. The separated liquid fraction is directed to the hydrothermal treatment module, while the dewatered solid residue proceeds to drying. At this stage, the system employs spectrometric sensors to determine the preliminary chemical composition of the feedstock, enabling subsequent adjustment of thermal processing parameters.

In the hydrothermal treatment module, the liquid is sterilised at 130-140 °C and concentrated ten- to twelvefold. The resulting condensate, in the form of distilled water, is returned for technical use at the poultry farm, while the concentrated liquid stream, rich in ammoniacal nitrogen, is routed to the final impregnation stage. This low-temperature pathway preserves the bulk of the nitrogen that would otherwise be lost during high-temperature pyrolysis.

The drying module, employing either a rotary drum dryer or a fluidized-bed dryer with a heat-carrier temperature of 100-300 °C, reduces the moisture content of the solid residue to 10-15%. The dried material then enters the pyrolysis reactor, configured as a fluidized-bed unit with rapid heating capability (up to 1000 °C per second). At 450-550 °C under an oxygen-free atmosphere, the material undergoes pyrolysis to produce biochar, a vapour-gas mixture, and synthesis gas containing methane, hydrogen, and carbon monoxide.

In the fraction separation module, the vapour-gas mixture is separated into solid biochar, a liquid fraction of organic acids and tars, and a non-condensable gas stream. The latter is sent to the energy module for combustion, with a portion being recirculated back to the reactor as a transport medium, thereby ensuring a closed-loop process.

In the impregnation module, the solid biochar is mixed with the concentrated liquid from the hydrothermal treatment module, yielding a finished, free-flowing organo-mineral fertiliser. The energy module combusts the pyrolysis gas and a portion of the biochar, covering 60-80 % of the plant's thermal demand. Flue gases are routed via a heat-exchanger network to the dryer and concentrator; after an initial start-up period of 2-4 hours, the system can operate entirely without external fuel.

The composition of poultry manure varies with bird age, diet, and season. Rather than relying on fixed operating parameters, the system employs a neural-network model trained on near-infrared (NIR) spectrometry data. This allows ash content and organic matter fraction to be predicted within minutes before the feedstock enters the reactor, enabling dynamic adjustment of the heating rate between 800 and 1000 °C per second to achieve the target biochar quality without excess energy consumption. Prediction accuracy reaches 92-95 %.

The digital twin of the pyrolysis chamber, fed by data from over 150 sensors – including thermocouples, pressure transducers, vortex and thermal-anemometric gas flow meters, electromagnetic liquid flow meters, and a suite of gas analysers for ammonia, hydrogen sulphide, methane, carbon monoxide, and oxygen – models wall slagging and predicts refractory lining wear with 95 % accuracy. It automatically issues a maintenance alert 72 hours before a critical failure, thereby preventing unplanned shutdowns, reducing operational risks, and enabling scheduled maintenance without interrupting primary production.

A machine vision system based on hyperspectral cameras, installed at the outlet prior to fertiliser packaging, analyses the colour and texture of the impregnated biochar granules. A neural-network algorithm detects foreign inclusions and evaluates impregnation uniformity; should quality deviate, the controller instantly adjusts the screw mixer speed and dosing pump rate, ensuring consistent final product quality–a critical factor for fertiliser certification and subsequent market distribution. Off-gases pass through a three-stage treatment train (wet scrubber, biofilter, and catalytic afterburner), with heat recovery feeding back into the energy loop.

Results and Discussion

The analysis was conducted using the digital twin of the unit. This approach enabled a theoretical substantiation of the process flow diagram and an assessment of its potential prior to advancing to pilot-scale implementation.

The material balance of the unit (Table) illustrates the transformation of 1,000 kg of feedstock into target products, with a manifold reduction in waste mass.

Table

Material balance of the hybrid pyrolysis unit

Item	Mass, kg	Remarks
Input		
Raw poultry manure (moisture 70 %)	1000	Organic matter 250-300 kg, water 700-750 kg, ash 50-100 kg
Output		
Finished fertiliser (biochar and concentrate)	180-220	Moisture 10-15 %, primary marketable product
Distilled water	450-500	Returned for technical needs of the poultry farm
Pyrolysis gas (combustible fraction)	150-200	CH_4, H_2, CO – routed to the energy loop
Losses (imbalance)	30-50	Residual moisture, dust entrainment

Fig. 3 illustrates the operating window of the hybrid scheme (450-550 °C). The principal advantage of the hybrid configuration lies in resolving the fundamental trade-off inherent in pyrolysis: the incompatibility between the high temperatures of 450-600 °C required for sterilisation and the production of hydrophobic biochar, on the one hand, and the retention of nitrogen, which begins to volatilise extensively above 200 °C, on the other.

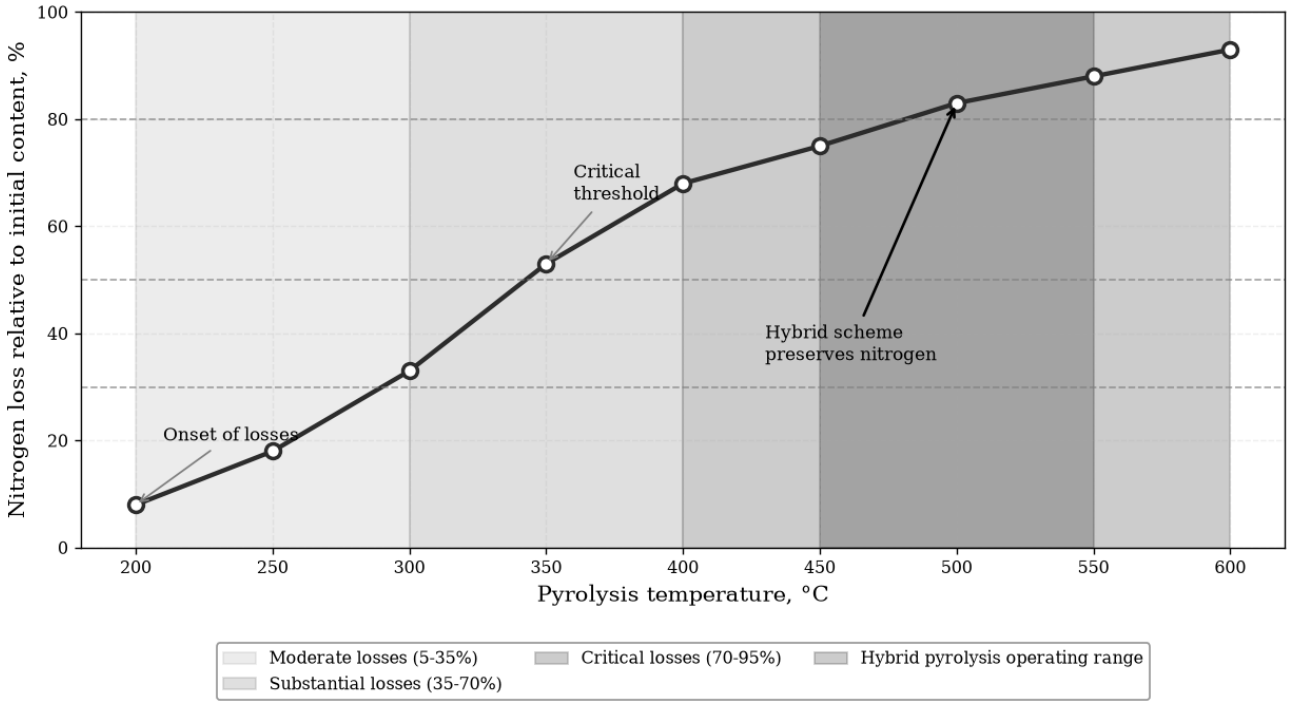


Fig. 3. Nitrogen loss as a function of pyrolysis temperature

Upon heating to 200 °C, nitrogen losses are in the range of 5-10 %. At 250 °C, they increase to 15-20 %, and at 300 °C they reach 30-35 %. The critical threshold is crossed at 350 °C, when more than half of the nitrogen is volatilised, with losses of 50-55 %. At 400 °C, losses amount to 65-70 %. At

500 °C, the solid residue becomes nitrogen-depleted, with 80-85 % losses, and at 600 °C and above, nearly complete nitrogen loss occurs, reaching 90-95 %.

The hybrid scheme circumvents this limitation through stream splitting. The centrifuge separates 45-50 % of the water along with the dissolved ammoniacal nitrogen. This fraction is not subjected to pyrolysis; instead, it is sterilised in an autoclave at 130-140 °C, where ammonia is retained and pathogens are eliminated. The solid fraction is pyrolysed at 450-550 °C to produce biochar and synthesis gas. Although 80-85 % of the nitrogen remaining in the solid phase is volatilised during this step, the absolute quantity is relatively small. The biochar is then impregnated with the ten- to twelvefold concentrated liquid stream, recovering 60-70 % of the original nitrogen that followed the low-temperature pathway. Carbon and phosphorus, meanwhile, undergo high-temperature treatment. It is this intelligent flow management that achieves what is conventionally considered unattainable in classical thermal processing.

The quality of the final fertiliser produced by this approach significantly outperforms that of conventional products. In terms of nitrogen content, the hybrid biochar reaches 2.0-3.0 %, approaching the levels found in raw manure, whereas non-impregnated biochar contains only 0.5-1.0 % nitrogen. Phosphorus content (as P_2O_5) in the hybrid biochar is 3.0-6.0 %, compared to 1.5-2.0 % in raw manure, representing a two- to threefold enrichment. Similarly, potassium content (as K_2O) is 2.0-3.0 % versus 1.0-1.5 %. Moreover, the product is sterile, free-flowing, hydrophobic, does not absorb atmospheric moisture, and is odourless (no ammonia smell). This fundamentally distinguishes it from traditional organic fertilisers, with their well-known storage and transportation challenges.

A comparative assessment of greenhouse gas emissions (Fig. 4), expressed in kg CO_2-eq/t of raw manure, highlights the advantages of the hybrid solution. Open field storage produces 800-1,200 kg CO_2-eq/t, primarily due to methane release (with a global warming potential 28 times that of CO_2) and nitrous oxide emissions (with a GWP of 265).

Direct combustion results in 400-600 kg CO_2-eq/t, primarily from fossil fuel consumption and nitrogen oxide formation. Anaerobic digestion systems produce 500-700 kg CO_2-eq/t, as up to half of the methane may escape into the atmosphere, while the liquid digestate releases nitrous oxide when applied to fields. Conventional pyrolysis without nitrogen recovery reduces emissions to 250-350 kg CO_2-eq/t, owing to carbon sequestration in the biochar.

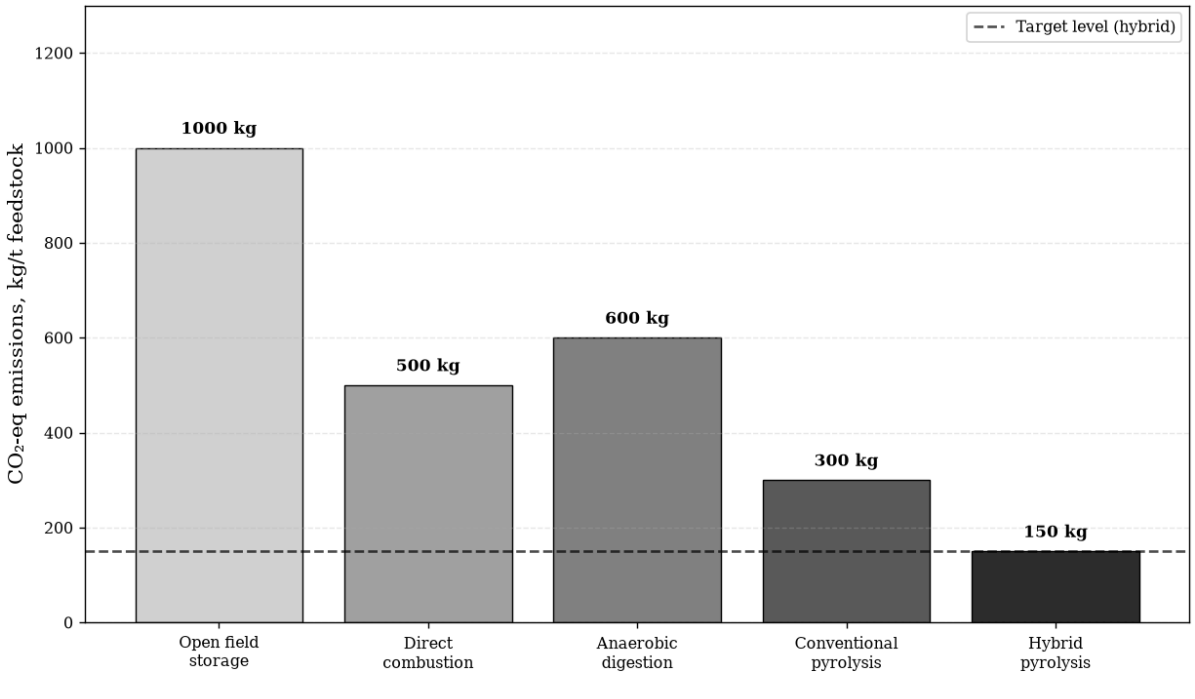


Fig. 4. Comparative assessment of greenhouse gas emissions for different poultry manure processing methods

Only the hybrid unit achieves a level of 100-200 kg CO_2-eq/t, benefiting from a high degree of off-gas utilisation and maximum carbon fixation. When the hybrid biochar is applied to soil, it enables long-term carbon sequestration over hundreds of years, effectively resulting in net negative emissions relative to atmospheric CO_2. This factor is becoming critically important in the context of evolving carbon credit systems and green financing mechanisms.

A comparative analysis (Fig. 5) across the key criteria shows that hybrid pyrolysis is the most balanced technology.

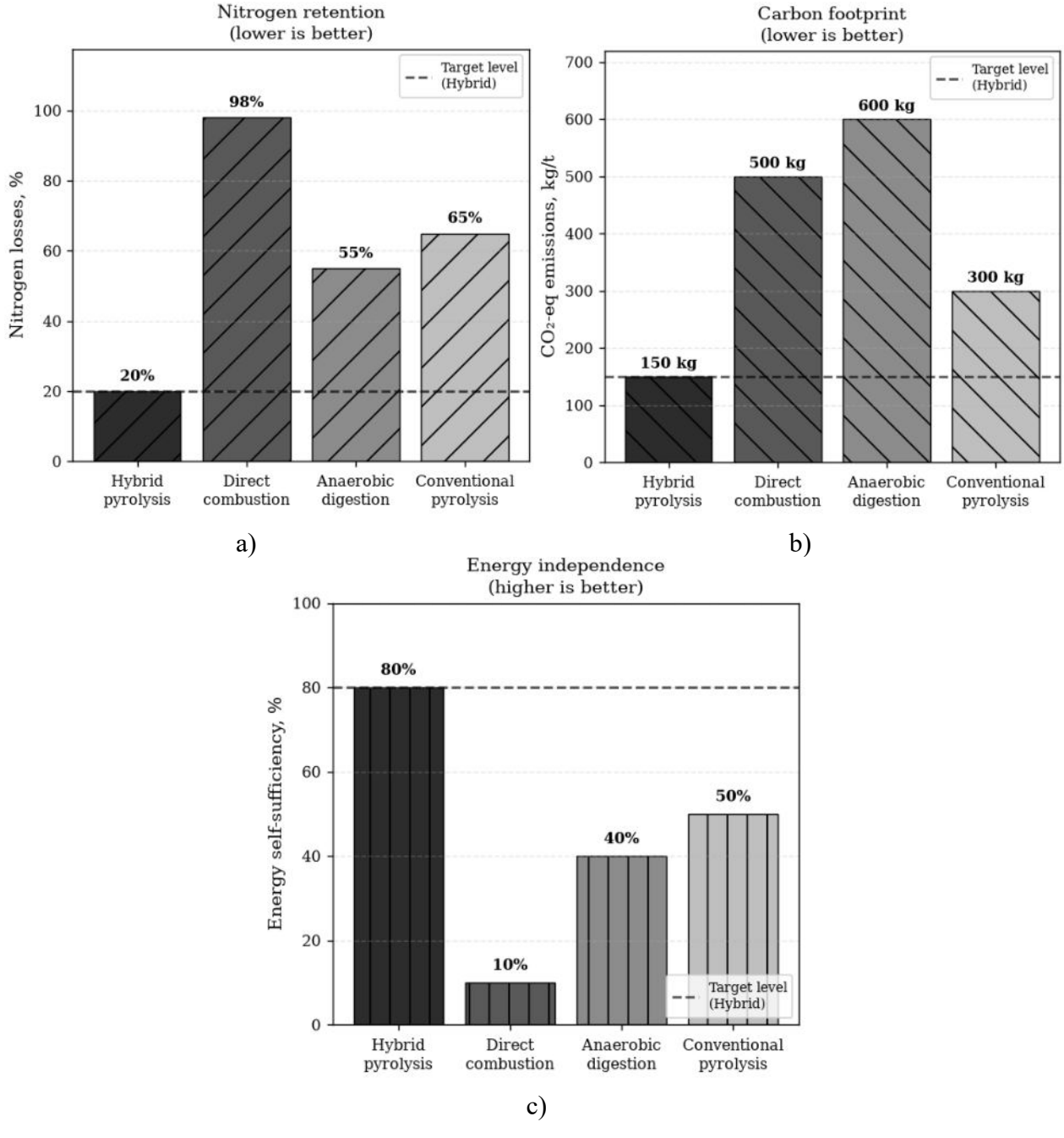


Fig. 5. Key performance indicators of poultry manure processing:
(a) nitrogen losses, (b) greenhouse gas emissions, (c) energy self-sufficiency

In terms of output products, hybrid pyrolysis yields biochar, heat, and distilled water. Direct combustion produces only ash and flue gases. Anaerobic digestion generates biogas and liquid digestate. Conventional pyrolysis without nitrogen recovery produces nitrogen-depleted biochar and

synthesis gas. Regarding sterilisation, both hybrid pyrolysis at 450-550 °C and direct combustion at 900-1200 °C achieve complete sterilisation. Anaerobic digestion at 40-55 °C provides only partial sterilisation, with helminth eggs and pathogenic microorganisms surviving the process.

As for nitrogen losses, hybrid pyrolysis exhibits low losses of less than 30 %, owing to the return of nitrogen via the liquid concentrate. Direct combustion loses 95-100 % of nitrogen. Anaerobic digestion shows high losses due to ammonia volatilisation. Conventional pyrolysis loses 50 to 80 % depending on the temperature. In terms of phosphorus availability, both hybrid and conventional pyrolysis at 450-550 °C achieve high performance, as phosphorus is retained in plant-available forms. Direct combustion at 900-1200 °C converts phosphorus into poorly soluble compounds. Anaerobic digestion occupies an intermediate position.

With respect to liquid effluent generation, neither hybrid pyrolysis nor direct combustion produce liquid waste streams. Anaerobic digestion generates a substantial volume of liquid digestate, posing a risk of nitrate and phosphate contamination of groundwater. In terms of odour, hybrid pyrolysis is odourless due to its sealed circuit and afterburner, whereas anaerobic digestion is characterised by strong ammonia and hydrogen sulphide odours. Regarding cycle time, hybrid and conventional pyrolysis are completed within 1-2 hours, whereas anaerobic digestion requires 7-10 days. As for energy self-sufficiency, hybrid pyrolysis achieves a high level of autonomy, covering 60-80 % of its thermal demand via synthesis gas. Direct combustion requires a continuous external fuel supply. Anaerobic digestion exhibits moderate self-sufficiency at 20-40 %. Conventional pyrolysis shows intermediate values.

Conclusion

The proposed hybrid pyrolysis unit represents a technologically sound solution for poultry manure processing. Its advantages are substantiated by the material balance figures: processing 1 tonne of feedstock (70 % moisture) yields 180-220 kg of finished biochar with a nitrogen content of 2.0-3.0 %, phosphorus (as P_2O_5) of 3.0-6.0 %, and potassium (as K_2O) of 2.0-3.0 %. In addition, 450-500 litres of distilled water are recovered, and 150-200 kg of pyrolysis gas are generated, covering 60-80 % of the unit's thermal demand. This results in a five- to eight-fold reduction in waste mass and enables a poultry farm with a throughput of 5 t/h (80 t/day in a two-shift operation) to transition from a costly waste-disposal model to a revenue-generating one.

The environmental performance is equally quantifiable: greenhouse gas emissions are reduced from 800-1,200 kg CO_2-eq/t (open field storage) to 100-200 kg CO_2-eq/t, while soil application of the biochar ensures long-term carbon sequestration. At the same time, complete product sterilisation is achieved, with no liquid effluents or odour emissions.

Several promising avenues for further development have been identified. Microwave-assisted pyrolysis offers the potential to reduce operating temperatures by 100-150 °C, while waste-derived catalysts – such as eggshells and rice husk ash – can lower temperatures by a further 50-70 °C and cut emissions by a factor of two to three. Plasma-based gas cleaning has demonstrated 72-75 % ammonia removal efficiency and 85-90 % removal of volatile organic compounds, making it particularly attractive for small-scale units in the 0.5-1 t/h range. Hybrid drying integrated with a heat pump can save 30-40 % of energy, and staged drying – first at 100-150 °C for water evaporation, followed by 200-250 °C in an inert atmosphere for ammonia capture – enables the co-production of an organic soil conditioner and ammonium sulphate. Finally, the digital control platform is designed to accommodate modular upgrades without the need for production interruptions.

References

1. Zhang C., Huang T., Tang Y., Wang S., Ma X. Volatilization characteristics and risk evaluation of heavy metals during the pyrolysis and combustion of rubber waste without or with molecular sieves // Ecotoxicology and Environmental Safety 2020. Vol. 198. 110677 DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110677.

2. Barysheva O.B., Ziganshin A.M. Improving the method for determining the composition of solid waste combustion // News of KSUAE 2025. Vol.71. Iss.1. Pp. 141-158, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.13, EDN: NNJNJG.

3. Chang M., Wen Z., Guo J. Molecular Dynamics Simulation of PAHs Generated from Rubber Pyrolysis // Polycyclic Aromatic Compounds 2025. Vol.45. Iss.3. P.406-422 DOI: 10.1080/10406638.2024.2408460.

4. Lee S., Giap V., Cha C., Kang D.W., Lee D., Lee Y.D. Simulation and exergy-based analysis of novel CO2-free hydrogen production: A cascade combination of methane pyrolysis, bi-reforming, and oxyfuel combustion // Energy Conversion and Management 2025. Vol.344. 120329 DOI:10.1016/j.enconman.2025.120329.

5. Kasmiarno L. D., Panannangan J. K., Steven S., Rizkiana J., Hernowo P., Achmad F., Muraza O., Prakoso T., Istyami A.N., Pratiwi M., Aqsha A., Bindar Y. Exploration of bio-hydrocarbon gases production via pyrolysis of fresh natural rubber: Experimental and volatile state kinetic modeling studies // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 2024. Vol.177. 106275. DOI: 10.1016/j.jaap.2023.106275.

6. Barysheva O.B., Ziganshin A.M. Modeling emissions from low-temperature disposal of rubber-containing waste during construction and reconstruction of structures // News of KSUAE 2025. Vol. Iss. 3. 73. Pp. 81-102, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.8, EDN: IYNMKT.

7. Jiang H., Shao J., Hu Q., Zhu Y., Cheng W., Zhang J., Fan T., Yu J., Yang H., Zhang X., Chen H. Carbon black production characteristics and mechanisms from pyrolysis of rubbers // Fuel Processing Technology 2024. Vol.253. art.108011. DOI: 10.1016/j.fuproc.2023.108011.

8. Martinez J.D., Puy N., Murillo R., Garcia T., Navarro M.V., Mastral A.M. Waste tyre pyrolysis – A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013. Vol. 23. Pp. 179-213. DOI: 10.1016/j.rser.2013.02.038.

9. d'Espiney A., Verworner B., Pinheiro H.M., Marques I.P., Oehmichen K., Engler N., Majer S.,Stinner W., Thran D. From waste to circularity: the potential of different treatments of poultry manure and forestry residues in a hot-spot production region in Portugal. Int J Life Cycle Assess 2026. Vol. 31. art. 9. https://doi.org/10.1007/s11367-026-02590-8.

10. Tawfik A., Eraky M., Osman A.I., Ai P., Zhou Z., Meng F., Rooney D. W. Bioenergy production from chicken manure: a review. Environ Chem Lett 2023. Vol. 21. Pp. 2707-2727 https://doi.org/10.1007/s10311-023-01618-x.

УДК 332.1:004:631.1

ЭМПИРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ В АГРАРНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

Валитов Г.Ш., аспирант ГБУ «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-1424-6514;
E-mail: valitov2001@gmail.com

EMPIRICAL ANALYSIS OF THE EFFECTS OF DIGITALIZATION IN RUSSIA'S AGRICULTURAL REGIONS

Valitov G.Sh., postgraduate, State Budgetary Institution «Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan», Kazan,
E-mail: valitov2001@gmail.com

Аннотация

В статье рассматривается влияние цифровизации на экономический рост российских регионов с высокой концентрацией агропромышленного комплекса. Исходя из данных за

2020-2023 гг.. была проведена оценка эффекта от цифровизации на экономический рост для восьми субъектов аграрной направленности Российской Федерации путем регрессии панельных данных. В качестве зависимой переменной использовался логарифм ВРП на душу населения, а ключевыми факторами были комплексный индекс цифрового развития и инвестиции в ИКТ на душу населения. Результаты показали отсутствие статистически значимого влияния достигнутого уровня цифрового развития на экономический рост отобранных регионов в отчетный период. При этом увеличение инвестиций в ИКТ на 1 тыс. рублей. на душу населения связано с увеличением ВРП на душу населения на 0,97%. Выводы свидетельствуют о том, что практические инвестиции в цифровую инфраструктуру, программное обеспечение и внедрение технологий в деятельность предприятий особенно важны для аграрных регионов на ранней стадии цифровой трансформации.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, цифровизация, панельные данные, регионы РФ, индекс

Abstract

The article examines the impact of digitalization on the economic growth of Russian regions with a high concentration of the agro-industrial complex. Based on data for 2020-2023. the effect of digitalization on economic growth was assessed for eight agrarian constituent entities of the Russian Federation by regression of panel data. The per capita logarithm of gross regional product was used as the dependent variable, and the comprehensive digital development index and per capita ICT investment were key factors. The results showed the absence of a statistically significant impact of the achieved level of digital development on the economic growth of the selected regions during the reporting period. At the same time, an increase in investment in ICT by 1 thousand rubles. per capita is associated with an increase in GRP per capita of 0.97%. The findings indicate that practical investments in digital infrastructure, software and the introduction of technologies into the activities of enterprises are especially important for agricultural regions at an early stage of digital transformation.

Keywords: agro-industrial complex, digitalization, panel data, regions of the Russian Federation, index

Введение

Цифровая трансформация в агропромышленном комплексе в России неоднородна. Наиболее активные цифровые решения внедряются крупными предприятиями, обладающими необходимыми финансовыми ресурсами, собственной технической базой и человеческим потенциалом. Малые и средние сельхоз производители, напротив, часто ограничиваются внедрением отдельных технологий с коротким периодом восстановления: систем машинного спутникового мониторинга, контроля расхода топлива, автоматизированного учета, услуг по управлению растениеводством и цифровых каналов сбыта. Это создает существенную разницу как между разными категориями хозяйств, так и между регионами РФ.

По оценкам аналитиков «Яков и Партнеры», цифровизация в агропромышленном комплексе в России может приносить от 800 млрд руб. в год к 2030 г. По их оценкам, 2030 г. процессы цифровизации ожидаются приведут к приросту производительности труда в сельском хозяйстве на 15,6% [8]. Аналитики Strategy Partners подтверждают неоднородный характер развития процессов цифровизации в России, также что на текущий момент наибольший эффект исходит от крупных агрохолдингов, однако ожидают совокупный экономический эффект в размере 1,5-2 трлн руб. к 2030 г. [7].

В ходе исследования будут рассмотрены зарубежные кейсы по наличию эффектов цифровизации на рост отраслей, связанных с сельским хозяйством. Далее будут рассмотрены регионы России, где сельское хозяйство имеет существенный вес в региональной экономике. Для данных регионов предполагается рассчитать интегральный индекс цифрового развития, а затем провести анализ эффектов цифровизации на экономический рост.

Целью исследования является выявление актуальных эффектов цифровизации на экономический рост в российских регионах, концентрирующихся на агропромышленном комплексе.

Актуальность исследования заключается в существенных ожидаемых эффектах от внедрения цифровых технологий на весь агропромышленный комплекс к 2030 г.

Новизна работы состоит в том, что цифровизация аграрных регионов России пока изучена недостаточно. В научных публикациях встречаются исследования цифровой трансформации экономики в целом или отдельных отраслей, однако работ, в которых на основе статистических данных подробно оценивается влияние цифровизации на экономический рост аграрных регионов, немного.

Обзор литературы

Множество учёных исследовали последствия принятия цифровых технологий в сельскохозяйственных отраслях развивающихся стран с уделением наибольшего внимания экономическим эффектам. Kitole и др. в ходе анализа литературы пришли к выводу, что сельскохозяйственные цифровые технологии влияют на содействие своевременному распространению информации о рыночных ценах на продукцию, что даёт фермерам возможность принимать бизнес-решения для увеличения прибыльности [4]. Более того, использование цифровых технологий в агробизнесе позволяет получать мгновенную информацию о хозяйстве – отслеживание погоды, состояние почвы, признаки наличия вредителей и прочие паттерны – что даёт фермерам возможность осуществлять превентивные меры и оптимизировать использование ресурсов, тем самым уменьшая абсолютный размер затрат и увеличивая производительность труда.

Kitole и др. провели статистическое исследование внедрения цифровых технологий в сельскохозяйственных отраслях Танзании [4]. Используя опрос 400 фермеров, ученые пришли к выводу о том, что доступ к кредитам, консультационные услуги, образование и государственная поддержка являются ключевыми источниками успеха внедрения процесса цифровизации в сельском хозяйстве. Установлено, что развитие процессов цифровизация имеет существенное влияние на благосостояние мелких фермеров в Танзании.

В исследовании Lu и др. на основе панельных данных по 1 602 уездам Китая за 2011–2020 гг. выявлено, что цифровые процессы в сельских территориях имеют статистическое значимое влияние на рост производительности сельского хозяйства [5]. По выводам авторов, данный эффект связан с развитием цифровой инфраструктуры, с наличием новых цифровых финансовых решений, цифровизацией аграрного производства и расширением доступа сельских хозяйств к информации и рынкам. Более того, важным механизмом влияния является стимулирование сельского предпринимательства: цифровизация способствует созданию и развитию предпринимательских инициатив, что повышает эффективность использования ресурсов и поддерживает более экологичные модели сельскохозяйственного производства.

Chandio A.A. и др. исследовали долгосрочное влияние информационно-коммуникационных технологий на производство зерна в странах СААРК (Афганистан, Бангладеш, Бутан, Индия, Мальдивы, Непал, Пакистан, Шри-Ланка) в 2002-2019 годах [3, с 529]. Основываясь на методе количественной регрессии моментов, авторы выявили, что распространение мобильной связи и использование интернета имеет существенное положительное влияние на производство зерен во всех квантилях, т.е. технологии помогают абсолютно всем хозяйствам – и тем, у кого изначально была очень низкая урожайность, и тем, у кого она была средней или самой высокой. Полученные результаты подтверждают важность развития цифровой инфраструктуры сельских районов как одного из факторов повышения производительности и рентабельности сельскохозяйственного сектора в развивающихся странах Южной Азии.

В работе Chandio A.A. и др. анализируется влияние цифровизации, технологических инноваций и изменения климата на производство продуктов питания в Китае [2]. Основы-

ваясь на модели ARDL (модель взаимосвязи между временными рядами), авторы приходят к тому, что в долгосрочной перспективе рост использования интернета и мобильных телефонов вместе с ростом расходов на НИОКР значительно увеличивает производство продуктов питания. При этом повышение температуры оказывает негативное влияние на производство продуктов питания.

В исследовании Thann O. и др. по странам региона АСЕАН за 2000-2022 гг. анализируется влияние технологических инноваций на эффективность сельского хозяйства [6]. Авторы выявили, что технологические инновации значительно повышают эффективность сельского хозяйства за счет повышения интенсивности сельскохозяйственных исследований и разработок, а также за счёт роста производительности труда. Более того, процессы цифровизация усиливают положительное влияние инноваций на растениеводство, животноводство и рыболовство, добавленную стоимость аграрного сектора и экспорт сельхозпродукции. Наиболее существенные эффекты инноваций наблюдаются в странах с наиболее высоким уровнем экономического развития, образования и зависимости от сельского хозяйства.

Анализ эффектов цифровизации на экономический рост регионов, концентрирующихся на агропромышленном комплексе

Данное исследование проведено на основе модернизированной методологии статьи Ягудиной Е.В. и Валитова Г.Ш. (2025) [1, с 543]. При оценке эффектов цифровизации на экономический рост регионов, концентрирующихся на аграрных отраслях, строится панельная регрессия с фиксированными эффектами, «в которой экономический рост объясняется показателями, связанными с цифровым развитием регионов, а также с прочими отраслевыми и макроэкономическими показателями». В текущем анализе были проанализированы результаты по цифровому развитию 8 регионов, концентрирующихся на аграрных отраслях, т.е. анализ учитывает только те регионы РФ, которые имеют наибольшую долю агропромышленного комплекса в ВРП. В список данных регионов вошли: Кабардино-Балкарская республика, Камчатский край, Карачаево-Черкесская республика, Курская область, Орловская область, Пензенская область, республика Дагестан, Тамбовская область. В ходе данного исследования рассматривается индекс цифрового развития регионов РФ на основе результатов статьи Ягудиной Е.В. и Валитова Г.Ш. (2025) [4]. Индекс цифрового развития регионов РФ является комбинированным показателем по цифровой эффективности регионов РФ, учитывающим проникновение цифровых технологий среди физических и юридических лиц, а также социально-экономическую готовность регионов к цифровизации.

Таблица 1

Индекс цифрового развития регионов РФ, концентрирующихся на аграрных отраслях

№	Регион	2023	2022	2021	2020
1	Тамбовская область	49,3	46,7	50,4	46,3
2	Курская область	47,4	44,7	43,4	38,8
3	Камчатский край	45,8	41,8	47,4	44,8
4	Пензенская область	45,1	42,7	45,7	43,9
5	Орловская область	44,6	44,3	40,4	41,4
6	Карачаево-Черкесская Республика	35,1	35,1	34,3	33,1
7	Кабардино-Балкарская Республика	31,1	31,9	41,0	38,7
8	Республика Дагестан	28,3	26,4	25,7	17,8

Согласно результатам статьи [4], отобранные регионы РФ, концентрирующиеся на аграрных отраслях, не входят в топ-15 регионов России по комбинированному уровню цифрового развития. Допустим, лидер рейтинга среди аграрных регионов РФ, Тамбовская область, занимает ориентировочно 35 место в рейтинге регионов России по индексу цифрового развития. Карачаево-Черкесская республика, Кабардино-Балкарская республика, республика Дагестан входят в список отстающих регионов РФ по цифровому развитию. Несмотря на то, что аграрные регионы РФ не входят в список лидеров по уровню цифровизации, по 7 из 8 отобранным регионам выявлен рост индекса за последние 4 года.

Для анализа эффектов цифровизации на экономический рост регионов, концентрирующихся на аграрном секторе, применялась методика эконометрической регрессии панельных данных.

Модель для регрессии

$$\begin{aligned}&\text{Натуральный логарифм ВРП на душу населения}_{i,j}\\&= \beta_0 + \beta_1 * \text{Индекс цифровизации региона}_{i,j} + \beta_2\\&* \text{Инвестиции в ИКТ на душу населения}_{i,j}\\&+ \sum \beta_n * \text{Независимые переменные}_{i,j} + \varepsilon_{i,j}\end{aligned} \quad (1)$$

В качестве объясняемой переменной в модели используется логарифм ВРП на душу население, в качестве объясняющих переменных используется индекс цифрового развития регионов РФ, затраты на ИКТ на душу населения и прочие независимые переменные (региональная инфляция, реальных рост зарплат, динамика сданной жилищной площади, количество организаций, уровень безработицы и индекс промышленного производства). Эмпирическое исследование было проведено за период в 2020-2023 гг.

По итогам нашего анализа регионов, концентрирующихся на сельском хозяйстве, мы можем наблюдать отсутствие эффектов развития цифровизации на экономический рост. Среди таких регионов отсутствуют субъекты, входящие в число лидеров по научно-технологическому развитию, что ограничивает потенциал комплексного использования цифровых технологий в аграрном секторе. В то же время, рост затрат регионов на ИКТ имеет положительное влияние на экономический рост, рост затрат на ИКТ на душу населения на 1 тыс. руб. приводит к росту ВРП на 0,97%.

Таблица 2

Анализ эффектов показателей цифровизации регионов РФ, концентрирующихся на аграрном секторе на экономический рост

Показатель	Регионы, концентрирующиеся на добывающей промышленности
Индекс цифрового развития региона	0.0066
	(0.0045)
Инвестиции в ИКТ на душу населения	0.0097**
	(0.0033)
Инфляция	0.0026
	(0.0114)
Динамика сданной жилищной площади	-0.0003
	(0.0002)

Окончание табл. 2

Показатель	Регионы, концентрирующиеся на добывающей промышленности
Уровень безработицы	-0.0802**
	(0.0170)
Кол-во организаций	0.0048**
	(0.0055)
Индекс промышленного производства	0.0004
	(0.0021)
Рост реальной зарплаты	0.0021
	(0.001)
R^2	0.86
n	32

Следовательно, для сельскохозяйственных регионов определяющим фактором может быть не формальный уровень цифровизации, а фактическое финансирование цифровой инфраструктуры, программного обеспечения и внедрение технологических решений в операционную деятельность предприятий с учетом начальной фазы использования цифровых технологий в этих регионах. Для сельскохозяйственных регионов основным фактором является не столько достигнутый уровень цифрового развития, сколько фактическая интенсивность использования цифровых технологий за счет инвестиций в ИКТ.

Выводы

Данная статья посвящена анализу эффектов развития цифровых технологий регионах России, концентрирующихся на агропромышленном комплексе. Анализ зарубежных исследований показывает, что цифровые технологии могут оказать положительное влияние на развитие сельского хозяйства и сельских территорий путем роста доступности информации о ценах и рынках сбыта, снижении асимметрии информации и оптимизации расходов. В ходе исследования было определено 8 регионов с РФ с наибольшей долей аграрного сегмента в региональной экономике и выявлено отсутствие эффектов интегрального показателя цифрового развития на экономический рост в данных регионах. Вместе с тем инвестиции в ИКТ оказывают положительный и статистически значимый эффект: увеличение затрат на ИКТ на 1 тыс. руб. на душу населения сопровождается ростом ВРП на душу населения на 0,97%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что на начальном этапе цифровой трансформации аграрных регионов ключевое значение имеет не столько достигнутый уровень цифровизации, сколько интенсивность практических инвестиций.

Список литературы

1. Ягудина Е. В., Валитов Г. Ш. Сравнительный анализ эффективности процессов цифровизации в регионах РФ // Экономические науки. – 2025. – № 12 (253). – С. 541–549.

2. Chandio A. A., Akram W., Du M.A., Ahmad F., Tang X. Agricultural transformation: Exploring the impact of digitalization, technological innovation and climate change on food production //Research in International Business and Finance. – 2025. – Т. 75.

3. Chandio A. A., Amin A., Khan I., Rehman A., Memon A. Can digitalization improve agriculture? Exploring the impact of ICT on grain food production in SAARC countries //Information development. – 2026. – Т. 42. – №. 1. – С. 529-548.

4. Kitole F. A., Mkuna E., Sesabo J. K. Digitalization and agricultural transformation in developing countries: Empirical evidence from Tanzania agriculture sector //Smart Agricultural Technology. – 2024. – Т. 7.

5. Lu S., Zhuang J., Sun Z., Huang M. How can rural digitalization improve agricultural green total factor productivity: Empirical evidence from counties in China //Heliyon. – 2024. – Т. 10. – №. 15.

6. Thann O. H., Zhao Y., Myne U., Sumin Z. Technological innovation and agricultural performance in the ASEAN region: The role of digitalization //Food Policy. – 2025. – Т. 135. – С. 102939.

7. Цифровизация АПК оценивается в 30% [Электронный ресурс] // Агроинвестор. – URL: https://www.agroinvestor.ru/technologies/news/45695-tsifrovizatsiya-apk-otsenivaetsya-v-30/ (дата обращения: 31.08.2026).

8. Шендерюк О., Чемашкин Ф., Ветошкин С., Могилюк В. Цифровизация АПК России: проблемы и решения [Электронный ресурс] // Яков и Партнёры. – URL: https://yakovpartners.ru/publications/digitalizing-russia-s-agricultural-sector-challenges-and-solutions/ (дата обращения: 31.08.2026).

УДК 619:579.6:638.135

PROPOLIS IN THE DIGITAL AGRICULTURE ERA: MECHANISMS OF ANTIMICROBIAL ACTION AGAINST ZOONOTIC PATHOGENS AND THE ROLE OF PREDICTIVE ANALYTICS IN CURBING ANTIBIOTIC RESISTANCE

Volkov R.A., Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Microbiology and Biotechnology;
ORCID: 0000-0001-8519-2299;
E-mail: renv@ro.ru;
Galiullin A.K., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-2868-0629;
E-mail: albert-954@mail.ru;
Magdeeva E.A., Candidate of Veterinary Sciences, Docent;
ORCID: 0000-0002-3765-0993;
E-mail: magdeeva.e@yandex.ru;
Shaeva A.Y., Candidate of Biological Sciences, Docent;
ORCID: 0000-0003-3623-0791;
E-mail: a-shaeva@mail.ru;
Semenova S.A., Candidate of Veterinary Sciences, Docent;
ORCID: 0009-0004-6061-5661;
E-mail: lanochka-vet@mail.ru;
Krasovskaya Y.V., Candidate of Veterinary Sciences, Docent;
ORCID: 0000-0003-3411-2679;
E-mail: ucheb_ot_kgavm@mail.ru;
Evstifeev V.V., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology and Biotechnology, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-9882-3475;
E-mail: vit.evstifeev@yandex.ru

ПРОПОЛИС В ЭПОХУ ЦИФРОВОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА: МЕХАНИЗМЫ АНТИМИКРОБНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРОТИВ ЗООНОТИЧЕСКИХ ПАТОГЕНОВ И РОЛЬ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ АНАЛИТИКИ В БОРЬБЕ С АНТИБИОТИЧЕСКОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТЬЮ

Волков Р.А., к.б.н., заведующий кафедрой микробиологии и биотехнологии;
ORCID: 0000-0001-8519-2299;
E-mail: renv@ro.ru;
Галиуллин А.К., д.в.н., профессор, доцент;
ORCID: 0000-0003-2868-0629;
E-mail: albert-954@mail.ru;
Магдеева Е.А., к.в.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-3765-0993;
E-mail: magdeeva.e@yandex.ru;
Шаева А.Я., к.б.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-3623-0791;
E-mail: a-shaeva@mail.ru;
Семенова С.А., к.в.н., доцент;
ORCID: 0009-0004-6061-5661;
E-mail: lanochka-vet@mail.ru;
Красовская Ю.В., к.в.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-3411-2679;
E-mail: ucheb_ot_kgavm@mail.ru;
Евстифеев В.В., д.б.н., доцент кафедры микробиологии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-9882-3475;
E-mail: vit.evstifeev@yandex.ru

Abstract

The problem of antibiotic resistance in pathogens of animal infectious diseases and zoonoses is one of the most pressing issues in modern veterinary medicine and public health. In the search for alternative strategies for pathogen control, natural bee products, particularly propolis, are attracting increasing research attention. This review analyzes current understanding of the mechanisms of propolis antimicrobial action, its chemical composition, and its role in curbing antibiotic resistance of bacterial zoonotic pathogens. To accomplish this review, an analysis of scientific publications was conducted using the PubMed, Scopus, and Web of Science databases for the period 2014 -2026. It has been shown that the antimicrobial activity of propolis is due to the synergistic action of biologically active compounds, primarily flavonoids and phenolic acids, which disrupt bacterial cytoplasmic membrane integrity, inhibit adenosine triphosphate synthesis, and suppress virulence factors. According to the literature, propolis demonstrates pronounced activity against Gram-positive bacteria, including clinically significant strains of Staphylococcus aureus and Enterococcus faecalis, particularly those resistant to methicillin and vancomycin. Several studies have established synergism between propolis and traditional antibiotics, allowing the reduction of their effective dosages and overcoming microbial resistance. The review also discusses data on the variability of propolis chemical composition depending on geographical origin, botanical source, and collection season, which determines differences in its biological activity. Furthermore, the paper examines the safety profile of propolis, its low toxicity, and immunomodulatory properties. Special attention is paid to the ability of propolis flavonoids to inhibit the horizontal transfer of resistance genes between bacterial cells, making it a promising tool for

preserving the efficacy of existing antibiotics in intensive livestock farming. It is concluded that propolis is promising as an alternative or adjunctive antimicrobial agent in veterinary practice, especially for infections caused by multidrug-resistant strains, and that standardization of propolis preparations and further clinical research are necessary. This review also discusses the prospects of integrating data on the chemical composition and antimicrobial activity of propolis with digital platforms and machine learning methods. Such an approach opens up opportunities for predicting the efficacy of propolis depending on its origin, creating intelligent decision support systems in veterinary medicine, and developing predictive models for monitoring pathogen resistance in livestock production, which aligns with current trends in the digitalization of the agro-industrial complex.

Keywords: propolis, antibiotic resistance, zoonoses, veterinary microbiology, antimicrobial activity, flavonoids, *Staphylococcus aureus, Enterococcus faecalis*, bee products, machine learning, digital technologies in agriculture

Аннотация

Проблема антибиотикорезистентности возбудителей инфекционных заболеваний животных и зоонозов является одной из наиболее актуальных проблем современной ветеринарной медицины и общественного здравоохранения. В поисках альтернативных стратегий борьбы с патогенами все большее внимание исследователей привлекают натуральные продукты пчеловодства, в частности прополис. В данном обзоре анализируется современное понимание механизмов антимикробного действия прополиса, его химического состава и роли в сдерживании антибиотикорезистентности бактериальных зоонозных патогенов. Для проведения обзора был выполнен анализ научных публикаций с использованием баз данных PubMed, Scopus и Web of Science за период 2014–2026 гг. Показано, что антимикробная активность прополиса обусловлена синергическим действием биологически активных соединений, прежде всего флавоноидов и фенольных кислот, которые нарушают целостность цитоплазматической мембраны бактерий, ингибируют синтез аденозинтрифосфата и подавляют факторы вирулентности. Согласно литературным данным, прополис демонстрирует выраженную активность против грамположительных бактерий, включая клинически значимые штаммы Staphylococcus aureus и Enterococcus faecalis, особенно устойчивые к метициллину и ванкомицину. В ряде исследований установлен синергизм между прополисом и традиционными антибиотиками, позволяющий снизить их эффективные дозы и преодолеть микробную резистентность. В обзоре также обсуждаются данные о вариабельности химического состава прополиса в зависимости от географического происхождения, ботанического источника и сезона сбора, что определяет различия в его биологической активности. Кроме того, в статье рассматривается профиль безопасности прополиса, его низкая токсичность и иммуномодулирующие свойства. Особое внимание уделяется способности флавоноидов прополиса ингибировать горизонтальный перенос генов резистентности между бактериальными клетками, что делает его перспективным средством для сохранения эффективности существующих антибиотиков в интенсивном животноводстве. Сделан вывод, что прополис является перспективным альтернативным или дополнительным противомикробным средством в ветеринарной практике, особенно при инфекциях, вызванных мультирезистентными штаммами, и что необходима стандартизация препаратов прополиса и дальнейшие клинические исследования. В данном обзоре также обсуждаются перспективы интеграции данных о химическом составе и противомикробной активности прополиса с цифровыми платформами и методами машинного обучения. Такой подход открывает возможности для прогнозирования эффективности прополиса в зависимости от его происхождения, создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений в ветеринарной медицине и разработки прогностических моделей для мониторинга резистентности патогенов в животноводстве, что соответствует современным тенденциям цифровизации агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: прополис, антибиотикорезистентность, зоонозы, ветеринарная микробиология, противомикробная активность, флавоноиды, Staphylococcus aureus, Enterococcus faecalis, продукты пчеловодства, машинное обучение, цифровые технологии в сельском хозяйстве

Introduction

Antimicrobial resistance in microorganisms is recognized as one of the top ten global threats to public health according to the World Health Organization (WHO) [1]. In veterinary medicine, the problem of antibiotic resistance is exacerbated by the widespread and often unjustified use of antibacterial agents in livestock production, which promotes the selection and spread of resistant strains among zoonotic pathogens [2]. Salmonella spp., Campylobacter spp., Escherichia coli, and Enterococcus spp. represent the major groups of bacterial pathogens transmitted from animals to humans, among which increasing resistance to critically important antibiotics is being reported [1, 2]. Therefore, the search for and implementation of alternative strategies for controlling bacterial infections, which would reduce selective pressure on microbial communities, is of paramount importance.

Propolis, or bee glue, is a resinous substance produced by bees from plant buds and exudates, mixed with enzymes and wax. For millennia, this bee product has been used in traditional medicine due to its antibacterial, anti-inflammatory, and wound-healing properties [4]. In recent decades, interest in propolis has grown significantly due to the discovery of its high biological activity against a broad spectrum of pathogenic microorganisms, including multidrug-resistant strains [5]. The aim of this review is to systematize current data on the mechanisms of propolis antimicrobial action and to substantiate its potential role in curbing antibiotic resistance of zoonotic pathogens in veterinary microbiology.

Materials and Methods

This work is a review study based on the analysis of domestic and foreign scientific literature published between 2014 and 2026. The search for sources was carried out in the electronic databases PubMed, Scopus, Web of Science, the Russian Science Citation Index (RSCI), and Google Scholar using the following keywords and their combinations: «propolis», «antibiotic resistance», «zoonoses», «veterinary microbiology», «antimicrobial activity», «flavonoids», «Staphylococcus aureus», and «Enterococcus faecalis». The search depth was 12 years with an emphasis on works published in the last 5–10 years. Inclusion criteria were full-text articles containing experimental data on the antimicrobial activity of propolis, its chemical composition, mechanisms of action, or application in veterinary practice. From an initial pool of over 150 publications, the most relevant studies corresponding to the review topic were selected. The literature analysis focused on identifying key patterns in the mechanisms of propolis antimicrobial action, its spectrum of activity against zoonotic pathogens, and its potential in overcoming antibiotic resistance. The methodological basis of the work was a systematic analysis, including a comparative assessment of results from various studies, generalization of empirical data, and formulation of conclusions based on the totality of available scientific facts. Content analysis was used to identify the most significant and recurring results, and the synthesis method was employed to integrate disparate data into a coherent conceptual framework. The review covers both fundamental research on the molecular mechanisms of propolis action and applied studies demonstrating its efficacy in vitro and in veterinary practice. The work also incorporates normative documents and guidelines from the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) on antimicrobial resistance in veterinary medicine.

Main Part

Chemical Composition of Propolis and Its Variability

The antimicrobial activity of propolis is directly related to its complex and variable chemical composition, which is primarily determined by the botanical source of the raw material, the geographical

region of collection, and the season [6]. The main biologically active groups of compounds in propolis are polyphenols, including flavonoids and phenolic acids. Among the most studied and significant components are p-coumaric acid, ferulic acid, caffeic acid, as well as their esters, in particular caffeic acid phenethyl ester (CAPE), and flavonoids: kaempferol, galangin, pinobanksin, quercetin, and others [7]. It is important to note that the composition of propolis can vary significantly. Propolis from temperate zones typically has a poplar type, characterized by a high flavonoid content, while tropical propolis may contain other classes of compounds. According to studies conducted on samples from various regions, p-coumaric acid is the dominant compound, and the total flavonoid content can vary widely [8]. This diversity creates difficulties in the standardization of propolis preparations, but at the same time expands the spectrum of its potential biological activity. It has been established that the content of phenolic compounds correlates with the antioxidant and antimicrobial activity of extracts.

Recent studies have shown that propolis of Russian origin also exhibits significant compositional variability. Samples of propolis collected in different regions of the Russian Federation differ in their flavonoid and phenolic acid content, which affects their antibacterial activity against test cultures of microorganisms. Propolis obtained from regions with a predominance of birch and poplar plantings is characterized by a higher content of pinobanksin and galangin, while samples from southern regions contain more caffeic acid and its derivatives. In addition, a seasonal dynamics of propolis composition has been established: propolis collected in the spring-summer period contains a greater amount of biologically active compounds compared to autumn collections [6]. This fact must be taken into account when planning the production of standardized propolis preparations for veterinary purposes.

Mechanisms of Propolis Antimicrobial Action

Recent research has significantly advanced the understanding of the molecular mechanisms underlying the antibacterial properties of propolis. Unlike synthetic antibiotics, which often have a single specific target, propolis exerts a multicomponent and multitargeted action on the bacterial cell, which reduces the likelihood of rapid resistance development [7]. One of the key mechanisms is the disruption of the integrity and function of the cytoplasmic membrane. Propolis components interact with the lipid bilayer, increasing its permeability, which leads to leakage of cellular contents and disruption of the transmembrane potential. In particular, a decrease in membrane potential and inhibition of adenosine triphosphate (ATP) synthesis are observed, which is especially important for bacterial energy metabolism and growth suppression [4].

A second important aspect is the inhibition of virulence factors and quorum sensing systems. Flavonoids and phenolic acids can suppress the activity of enzymes involved in biofilm formation and disrupt signaling pathways necessary for the coordination of bacterial pathogenicity [5]. This is confirmed by data on the ability of propolis to disrupt the structure and function of the cell wall and reduce the motility of microorganisms. In vitro studies demonstrate that propolis is active against a range of Gram-positive and Gram-negative bacteria, although its efficacy against the latter is generally lower due to the presence of an additional outer membrane [9].

In recent years, the effect of propolis on the expression of bacterial virulence genes has been actively studied. Propolis extracts can suppress the expression of genes responsible for the synthesis of toxins and adhesion factors in Staphylococcus aureus and Escherichia coli. This means that propolis not only exerts a bactericidal effect but also reduces the pathogenic potential of microorganisms, which is particularly important in the treatment of chronic infections associated with biofilms. It should also be noted that propolis exhibits synergism with some antibiotics, allowing the reduction of their effective concentrations and overcoming microbial resistance [5].

Spectrum of Propolis Antimicrobial Activity

Propolis demonstrates a broad spectrum of antimicrobial activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria, as well as fungi and viruses. The most sensitive to propolis are Gram-positive bacteria, including Staphylococcus aureus, Streptococcus pyogenes, Enterococcus faecalis, and Bacillus subtilis [9]. This is related to the structural features of the cell wall of Gram-positive bacteria, which is more accessible to the penetration of active propolis components. Against Gram-negative

bacteria such as Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, and Salmonella spp., the antimicrobial activity of propolis is less pronounced; however, with the use of certain extract concentrations, a significant bacteriostatic effect is achieved. The efficacy of propolis against Gram-negative bacteria can be enhanced through the use of nanoparticles or combination with other natural antimicrobial agents [10].

Of particular interest is the activity of propolis against multidrug-resistant strains of microorganisms. Propolis is effective against methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) and vancomycin-resistant Enterococcus (VRE) [10]. This opens up prospects for the use of propolis as an alternative agent for the treatment of infections caused by resistant strains, especially in veterinary practice, where the range of available antibiotics is limited.

Propolis and Antibiotic Resistance of Zoonotic Pathogens

Zoonotic infections represent a serious problem for veterinary medicine and public health. Zoonotic pathogens such as Salmonella spp., Campylobacter spp., Listeria monocytogenes, and Escherichia coli often exhibit high resistance to antibiotics, complicating the treatment of infections in animals and creating a risk of transmitting resistant strains to humans [2]. Propolis can play an important role in curbing the spread of antibiotic resistance among zoonotic pathogens. Its use as an alternative to antibiotics can reduce the total volume of antibacterial drugs used in livestock production, thereby reducing selective pressure on microbial populations [8]. In addition, propolis can restore the sensitivity of resistant strains to antibiotics, as has been demonstrated in studies on clinical isolates [9].

A study conducted on Salmonella spp. isolates from farm animals showed that propolis treatment led to a reduction in the minimum inhibitory concentration (MIC) of antibiotics to which the strains were resistant. Similar results were obtained for Campylobacter jejuni isolates, where propolis restored sensitivity to erythromycin and ciprofloxacin [9]. Of particular note are studies demonstrating the ability of propolis to inhibit the horizontal transfer of resistance genes between bacteria. In vitro experiments have shown that flavonoids contained in propolis suppress conjugation and transformation, reducing the frequency of transmission of plasmids carrying antibiotic resistance genes [8]. This indicates the potential role of propolis in preventing the spread of resistance in microbial communities.

Digital Technologies and Data Analysis in Propolis Research

The complexity and multicomponent nature of the chemical composition of propolis, as well as its variability depending on geographical origin and collection season, pose significant challenges for standardization and prediction of its biological activity [6, 8]. In recent years, modern digital technologies and machine learning (ML) methods have been increasingly employed to address these challenges.

In particular, ML algorithms (such as random forest, support vector machines, and neural network models) are successfully applied to process large datasets obtained from high-performance liquid chromatography (HPLC) and mass spectrometry. These methods enable:

1. Classification of propolis samples by their botanical and geographical origin based on flavonoid and phenolic acid profiles with high accuracy (exceeding 90%), which is critically important for raw material quality control.

2. Prediction of antimicrobial activity against specific microbial strains (including resistant ones) based on chemical composition data. This allows for the selection of the most promising propolis samples for the development of veterinary preparations at the analysis stage, without conducting time-consuming microbiological experiments.

3. Creation of predictive models to assess the likelihood of resistance development in bacterial populations under prolonged propolis use, contributing to the development of more effective application strategies.

Furthermore, digital technologies play an important role at the implementation stage of propolis in veterinary practice. Intelligent decision support systems for veterinary practitioners are being

developed, which may include databases on the efficacy of various propolis preparations depending on animal species, infection localization, and pathogen type. In the future, the integration of such data with Precision Livestock Farming (PLF) systems, which utilize sensors and video surveillance for animal health monitoring, will enable the transition to personalized protocols for the prevention and treatment of infectious diseases, minimizing the use of traditional antibiotics.

Application of Propolis in Veterinary Practice

The use of propolis in veterinary medicine has a long history, but in recent years interest in it has significantly increased due to the search for alternatives to antibiotics. Propolis is used in various forms: aqueous and alcoholic extracts, ointments, gels, and as part of feed additives [4]. In poultry farming, propolis is used for the prevention of infectious diseases and for improving productivity. The addition of propolis to the diet of broiler chickens helps reduce bacterial contamination of the gastrointestinal tract, improves growth performance, and increases livestock survival [3]. In addition, propolis has been found to have an immunomodulatory effect, stimulating antibody production and phagocyte activity.

In swine farming, propolis is used for the treatment and prevention of gastrointestinal infections caused by Escherichia coli and Salmonella spp. The addition of propolis to pig feed leads to a reduction in the incidence of diarrhea and a decrease in pathogen shedding in feces. Propolis is also used for wound and postoperative suture treatment, accelerating healing and preventing the development of infectious complications [5]. In cattle, propolis is used for the treatment of mastitis and endometritis. Alcoholic extracts of propolis demonstrate high efficacy against mastitis pathogens, including Staphylococcus aureus and Streptococcus agalactiae [10]. A positive effect of propolis on wound and ulcer healing in animals has also been noted, which is especially relevant in the treatment of hoof diseases. In small animal practice, propolis is used in dermatology for the treatment of bacterial and fungal skin infections, as well as in dentistry for the treatment of gingivitis and stomatitis [4].

Safety and Standardization of Propolis Preparations

The safety of propolis use in veterinary practice is of great importance. Propolis is a low-toxicity substance and does not have a negative effect on the animal organism when recommended doses are observed [6]. However, it should be considered that propolis can cause allergic reactions in some animals, especially with topical application, which requires preliminary testing. An important problem is the standardization of propolis preparations for veterinary use. Given the variability of the chemical composition of propolis, it is necessary to develop quality criteria based on the content of key biologically active compounds, such as flavonoids and phenolic acids [7]. In the Russian Federation and the countries of the Eurasian Economic Union (EAEU), regulatory documents are being developed to govern the quality of propolis for veterinary use. Modern analytical methods, including high-performance liquid chromatography (HPLC) and mass spectrometry, allow for accurate identification and quantitative determination of propolis components, providing a basis for the creation of standardized preparations with reproducible properties [8].

Conclusion

Recent scientific evidence convincingly demonstrates that propolis is a potent natural antimicrobial agent with a multicomponent mechanism of action. Its activity against multidrug-resistant strains of S.aureus, E. faecalis, Salmonella spp., and other zoonotic pathogens, as well as its ability to synergize with antibiotics, opens new prospects for veterinary microbiology. The literature analysis allows us to conclude that the antimicrobial action of propolis is due to the disruption of the integrity of the bacterial cytoplasmic membrane, inhibition of energy metabolism, suppression of virulence factors and quorum sensing systems, as well as the inhibition of the expression of genes responsible for toxin synthesis and adhesion factors. The multitargeted nature of propolis action significantly reduces the likelihood of microorganisms developing resistance to it. Of particular value is the ability of propolis to restore the sensitivity of resistant strains to traditional antibiotics and to inhibit the horizontal transfer of resistance genes. Propolis can become an important tool in the strategy of curbing antibiotic resistance, offering an alternative or supplement to traditional

antibacterial therapy. Its use in veterinary practice, including poultry, swine, cattle, and small animal farming, shows high efficacy in the prevention and treatment of infectious diseases. Further research should be directed toward the standardization of propolis preparations, the study of their mechanisms of action at the molecular level, and the conduct of clinical trials for their integration into veterinary practice. Particular attention should be paid to the development of effective and safe forms of propolis for various animal species, as well as to the assessment of its long-term impact on animal health and the quality of animal products.

A critically important direction for future research is the integration of accumulated data on propolis into the digital ecosystem of veterinary services and the agro-industrial complex. The application of machine learning methods to analyze the «chemical composition – biological activity» relationship will not only accelerate the development of standardized preparations but also enable the creation of predictive digital tools. Such tools will facilitate informed decision-making regarding the use of propolis in specific livestock operations, taking into account regional characteristics and circulating pathogen strains, which fully aligns with the concept of smart and sustainable agriculture.

References

1. World Health Organization. Antimicrobial resistance: global report on surveillance. – Geneva : WHO, 2024. – 312 p. – URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240116337. (accessed: 15.08.2026).

2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The FAO Action Plan on Antimicrobial Resistance 2021–2025. – Rome : FAO, 2021. – 85 p. – URL: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb5545en. (accessed: 15.08.2026).

3. Al-Kahtani S. N., Alaqil A. A., Abbas A. O. Modulation of antioxidant defense, immune response, and growth performance by inclusion of propolis and bee pollen into broiler diets // Animals. – 2022. – Vol. 12, № 13. – Art. 1658. – DOI 10.3390/ani12131658.

4. Maroof K., Gan S. H. A Review on Chemical Compositions, Biological Activity and Formulation Techniques of Malaysian Honey Bee and Meliponine Propolis // Journal of Biologically Active Products from Nature. – 2020. – Vol. 10, № 6. – P. 507–523. – DOI 10.1080/22311866.2020.1856716.

5. Oryan A., Alemzadeh E., Moshiri A. Potential role of propolis in wound healing: biological properties and therapeutic activities // Biomedicine & Pharmacotherapy. – 2018. – Vol. 98. – P. 469–483. – DOI 10.1016/j.biopha.2017.12.069.

6. Bankova V., Popova M., Trusheva B. Propolis volatile compounds: chemical diversity and biological activity: a review // Chemistry Central Journal. – 2014. – Vol. 8, № 1. – Art. 28. – DOI 10.1186/1752-153X-8-28.

7. Kurek-Górecka A., Rzepecka-Stojko A., Górecki M., Stojko J., Sosada M., Swierczek-Zieba G. Structure and antioxidant activity of polyphenols derived from propolis // Molecules. – 2014. – Vol. 19, № 1. – P. 78–101.

8. Ma X., Guo Z., Li Y., Yang K., Li X., Liu Y., Shen Z., Zhao L., Zhang Z. Phytochemical constituents of propolis flavonoid, immunological enhancement, and anti-porcine parvovirus activities isolated from propolis // Frontiers in Veterinary Science. – 2022. – Vol. 9. – Art. 857183. – DOI 10.3389/fvets.2022.857183.

9. Rana A., Malik A., Sobti R. C. Anti-bacterial Properties of Propolis: A Comprehensive Review // Current Microbiology. – 2025. – Vol. 82, № 10. – Art. 479. – DOI 10.1007/s00284-025-04456-y.

10. Aldana-Mejía J. A., Ribeiro V. P., Katragunta K., et al. Chemical Characterization and Antimicrobial Activity of Green Propolis from the Brazilian Caatinga Biome // Plants. – 2024. – Vol. 13, № 24. – Art. 3576. – DOI 10.3390/plants13243576.

УДК 338.43:631.15

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА В РЕГИОНЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Гайнутдинов И.Г., д.э.н., профессор ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань;
ORCID: 0000-0002-1234-5678;
E-mail: ilgizar-gg@mail.ru;
Александрова Н.Р., к.э.н., доцент ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», г. Ульяновск, Россия;
ORCID: 0000-0002-8711-8313;
E-mail: anr73@mail.ru

PRIORITY DIRECTIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF DAIRY CATTLE FARMING IN THE REGION IN THE CONTEXT OF ECONOMIC DIGITALIZATION

Gaiynutdinov I.G., Doctor of Economic Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University, Kazan;
ORCID: 0000-0002-1234-5678;
Aleksandrova N.R., PhD in Economics, Associate Professor, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia;
ORCID: 0000-0002-8711-8313;
E-mail: anr73@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования приоритетных направлений повышения эффективности производства молока в регионе на основе цифровой трансформации. На примере Республики Татарстан, являющейся лидером по производству молока в Приволжском федеральном округе, выявлены ключевые тенденции развития отрасли за период 2021–2025 гг.: рост валового производства на 21,4% при сокращении поголовья коров на 3,7% за счёт повышения продуктивности на 26,2% [2, 3]. Определены системные проблемы, сдерживающие дальнейший рост: высокая дифференциация хозяйств по продуктивности (разрыв до 2,8 раза), недостаточный уровень цифровизации ключевых процессов (доля хозяйств с системами управления стадом – 31%, автоматизацией кормления – 26%) [1, 9], дефицит квалифицированных кадров и инфраструктурные ограничения. На основе анализа проблем и резервов обоснованы пять приоритетных направлений цифровой трансформации: внедрение систем управления стадом, автоматизация кормления, мониторинг здоровья и воспроизводства, развитие систем биологической защиты и цифровых паспортов животных [6, 7, 8]. Разработана целевая модель с количественными показателями на период до 2030 года. Расчёты для типового хозяйства с поголовьем 400 коров показывают, что комплексное внедрение цифровых решений обеспечивает годовой эффект 15,65 млн руб., срок окупаемости 0,49 года, NPV – 85,2 млн руб., IRR – 52% [4, 5]. Экстраполяция на уровень республики даёт реалистичный годовой эффект 3–4 млрд руб. к 2030 году [2].

Ключевые слова: молочное скотоводство, цифровая трансформация, эффективность производства, управленческие решения, Республика Татарстан, точное животноводство, продуктивность коров, автоматизация, целевая модель

Abstract

The article presents the results of a study on priority directions for improving milk production efficiency in the region based on digital transformation. Using the Republic of Tatarstan, a leader in milk production in the Volga Federal District, as an example, key trends in the industry development for the period 2021–2025 are identified: an increase in gross production by 21.4% with a reduction in the dairy herd by 3.7% due to a 26.2% increase in productivity [2, 3]. Systemic problems constraining further growth are identified: high differentiation of farms by productivity (a gap up to 2.8 times), insufficient level of digitalization of key processes (the share of farms with herd management systems is 31%, feeding automation – 26%) [1, 9], a shortage of qualified personnel and infrastructure constraints. Based on the analysis of problems and reserves, five priority areas of digital transformation are substantiated: implementation of herd management systems, feeding automation, health and reproduction monitoring, development of biosecurity systems, and digital animal passports [6, 7, 8]. A target model with quantitative indicators for the period up to 2030 has been developed. Calculations for a typical farm with a herd of 400 cows show that the integrated implementation of digital solutions provides an annual effect of 15.65 million rubles, a payback period of 0.49 years, an NPV of 85.2 million rubles, and an IRR of 52% [4, 5]. Extrapolation to the republican level gives a realistic annual effect of 3–4 billion rubles by 2030 [2].

Keywords: dairy cattle farming, digital transformation, production efficiency, management decisions, Republic of Tatarstan, precision livestock farming, cow productivity, automation, target mode

Введение

Молочное скотоводство является одной из стратегически значимых подотраслей агропромышленного комплекса Российской Федерации, обеспечивающей продовольственную безопасность страны. Согласно Доктрине продовольственной безопасности, пороговое значение самообеспеченности по молоку установлено на уровне 90% [2]. Фактический уровень в 2025 году составил около 85%, что свидетельствует о наличии резервов для наращивания производства [2]. В условиях цифровой экономики ключевым инструментом решения проблем отрасли становится цифровая трансформация производственных и управленческих процессов. Республика Татарстан традиционно входит в число лидеров среди регионов России по производству молока, что определяет актуальность разработки научно обоснованных управленческих решений по повышению эффективности отрасли на основе цифровизации [2, 3].

Методика

Теоретической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных учёных в области экономики сельского хозяйства и цифровой экономики [1, 2, 3, 6, 7, 8, 9]. Методологическую основу составили системный подход, анализ и синтез, методы статистического и сравнительного анализа, экономико-математического моделирования (расчёт чистого дисконтированного дохода, внутренней нормы доходности, срока окупаемости), метод экспертных оценок [4, 5]. Эмпирической базой послужили официальные данные Росстата, годовые отчёты Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан, аналитические материалы отраслевых союзов за период 2021–2025 гг. [2, 3].

Основная часть

За период 2021–2025 гг. молочное скотоводство Республики Татарстан демонстрирует интенсивный тип развития: при сокращении общего поголовья коров на 3,7% (до 315,1 тыс. голов) валовое производство молока выросло на 21,4% (до 2377,9 тыс. тонн), а продуктивность увеличилась на 26,2% (до 7605 кг) [2, 3]. Эти показатели существенно превышают среднероссийские темпы роста (+5,9% по валовому производству и около +12% по продуктивности). Основным драйвером роста являются сельскохозяйственные организации, обеспечивающие 69,5% валового производства при доле в поголовье 58,4%. Продуктивность в этом секторе до-

стигла 8830 кг/год, увеличившись за пять лет на 31,2% [2, 3]. Ключевым фактором роста является интенсификация кормления: расход концентрированных кормов на одну корову в сельскохозяйственных организациях вырос на 70,5%, что обеспечило прямую корреляцию (0,94) с ростом надоев [3].

Вместе с тем выявлена значительная дифференциация хозяйств: разрыв между лучшими и худшими предприятиями по удою на корову достигает 2,8 раза (от 3900 до 10900 кг/год) [2]. При этом шесть районов обеспечивают 78% общего прироста производства молока, тогда как в 15 районах наблюдается снижение показателей [2]. Определены шесть ключевых проблемных зон, требующих управленческих решений на основе цифровизации: низкое выявление охоты (потери 500–1000 руб./голову в месяц), неоптимальное кормление (перерасход 2–3 руб./кг молока), маститы (потеря 10–15% цены реализации), низкая точность прогнозирования отёлов, высокая текучесть операторов машинного доения, неоптимальная структура стада [1, 2].

Оценка уровня цифровой зрелости молочного скотоводства Республики Татарстан показывает, что, несмотря на лидерство региона в рейтингах цифровой трансформации АПК (1-е место в 2024 г.), доля хозяйств, использующих системы управления стадом, составляет лишь 31%, автоматизацию кормления – 26%, системы мониторинга здоровья животных – менее 10% [9]. Интегральный индекс цифровой зрелости оценивается как средний (уровень 2 по пятиуровневой шкале) при сохранении значительной дифференциации между передовыми и отстающими хозяйствами [1, 9].

На основе проведённого анализа обоснованы пять приоритетных направлений цифровой трансформации [6, 7, 8, 9]. Направление 1 – внедрение систем управления стадом (DairyPlan, M-complex, «СЕЛЭКС») – является базовым и позволяет интегрировать все производственные процессы [7, 8]. Ожидаемый эффект: снижение затрат кормов на 5–7%, рост продуктивности на 3–5%, сокращение сервис-периода на 10–15 дней. Направление 2 – автоматизация системы кормления – обеспечивает снижение расхода кормов на 8–12% и повышение продуктивности на 5–10% за счёт точного дозирования и сбалансированного кормления по фазам лактации [7, 8]. Направление 3 – внедрение систем мониторинга здоровья и воспроизводства с использованием датчиков активности и физиологического состояния – позволяет сократить сервис-период на 15–20 дней, снизить яловость на 10–15%, своевременно выявлять заболевания на ранних стадиях [6, 7]. Направление 4 – развитие систем биологической защиты с использованием цифровых технологий – критически важно для сохранения поголовья, учитывая, что только 20% молочных комплексов соответствуют критериям биозащиты [6]. Направление 5 – внедрение цифровых паспортов животных – обеспечивает сбор более 100 показателей по каждому животному, повышая эффективность селекционной работы на 15–20% [7, 8].

Разработана целевая модель цифровой трансформации молочного скотоводства Республики Татарстан на период до 2030 года с количественными показателями: доля хозяйств с системами управления стадом – 70%, с автоматизацией кормления – 60%, с электронной идентификацией – 100% поголовья, охват цифровым мониторингом здоровья – 50% стада, доля комплексов с системами биозащиты – 80%, доля управленческих решений на основе данных в реальном времени – 70% [1, 9].

Оценка экономической эффективности предлагаемых решений проведена для типового хозяйства с поголовьем 400 дойных коров. Комплексное внедрение всех систем (капитальные затраты 7,7 млн руб.) обеспечивает годовой эффект 15,65 млн руб., срок окупаемости 0,49 года (около 6 месяцев), NPV за 10 лет – 85,2 млн руб., IRR – 52% [4, 5]. Анализ чувствительности подтверждает устойчивость проекта: даже при снижении цен реализации на 20% NPV остаётся положительным (42,6 млн руб.), IRR – 28% [5]. Экстраполяция на уровень Республики Татарстан (184 тыс. голов в сельхозорганизациях) даёт потенциальный годовой эффект

7,2 млрд руб. С учётом ограничений реалистичный годовой эффект к 2030 г. может составить 3–4 млрд руб. [2].

Выводы

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы. Молочное скотоводство Республики Татарстан демонстрирует устойчивый рост за счёт интенсификации производства, однако сохраняется значительная дифференциация хозяйств и недостаточный уровень цифровизации ключевых процессов. Обоснованные пять приоритетных направлений цифровой трансформации позволяют системно подойти к повышению эффективности отрасли. Разработанная целевая модель и количественные показатели создают основу для мониторинга прогресса цифровой трансформации до 2030 года. Экономические расчёты подтверждают высокую эффективность предлагаемых решений: комплексное внедрение цифровых технологий окупается менее чем за год и обеспечивает значительный экономический эффект как на уровне отдельного хозяйства, так и на региональном уровне. Реализация разработанных управленческих решений позволит Республике Татарстан не только сохранить лидерские позиции по производству молока и цифровизации АПК, но и обеспечить продовольственную безопасность региона в условиях цифровой экономики.

Список литературы

1. Александрова, Н. Р. Цифровизация сельского хозяйства: тенденции и перспективы развития / Н. Р. Александрова, А. К. Субаева, Ю. В. Чутчева // Естественно-гуманитарные исследования. – 2024. – № 2 (52). – С. 25-30.

2. Гайнутдинов, И. Г. Сравнительный анализ состояния развития молочного скотоводства в Республике Татарстан и субъектах Российской Федерации / И. Г. Гайнутдинов, Н. Р. Александрова // Вектор экономики. – 2024. – № 6 (96).

3. Гайнутдинов, И. Г. Организация племенного дела и повышение продуктивности молочного скотоводства в Республике Татарстан / И. Г. Гайнутдинов, Ф. Н. Мухаметгалиев, Н. М. Асадуллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18. – № 3. – С. 133-142.

4. Денисова, Н. В. Методика комплексной оценки факторов, оказывающих влияние на эффективность производства молока / Н. В. Денисова, Т. В. Кирилова // АНИ: экономика и управление. – 2017. – № 2 (19). – С. 115-117.

5. Коновалов, В. В. Методика определения показателей эффективности молочной продуктивности / В. В. Коновалов, С. Ю. Ефремова, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков // Нива Поволжья. – 2024. – № 4 (72). – DOI 10.36461/NP.2024.72.4.010.

6. Losacco, C. Digital Transition as a Driver for Sustainable Tailor-Made Farm Management: An Up-to-Date Overview on Precision Livestock Farming / C. Losacco, G. Pugliese, L. Forte, V. Tufarelli, A. Maggiolino, P. De Palo // Agriculture. – 2025. – Vol. 15 (13). – P. 1383. – DOI: 10.3390/agriculture15131383.

7. MarketsandMarkets. How Automation and Data Are Driving Precision Livestock Farming Market Growth [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: https://www.marketsandmarkets.com.

8. Smart AgriFood Observatory. Italy Agriculture 4.0 Market Report 2025. Politecnico di Milano & University of Brescia [Электронный ресурс]. – URL: https://eng.osservatori.net/smart-agrifood-eng/.

9. Strategy Partners. Цифровая трансформация АПК: от данных к устойчивой прибыли [Электронный ресурс]. – Москва, 2025. – URL: https://strategy.ru.

10. Субаева, А. К. Принципы и меры обеспечения информационной безопасности в АПК / А. К. Субаева, А. И. Гатина // Россия и новые вызовы: экономика и общество: Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Курск, 2025. – С. 246-253.

УДК 628.355

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Гайфуллин И.Х., к.т.н., доцент;
E-mail: ilnur-gai@yandex.ru;
Зиганшин Б.Г., д.т.н., профессор, профессор РАН, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань;
E-mail: zigan66@mail.ru;
Шогенов Ю.Х., д.т.н., академик РАН, ФГБУ «Российская академия наук», Москва, Россия;
E-mail: yh1961s@yandex.ru

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A BIOGAS PLANT THROUGH THE IMPLEMENTATION OF A REMOTE CONTROL AND VISUALIZATION SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES

Gayfullin I.Kh., PhD in Engineering, Associate Professor
E-mail: ilnur-gai@yandex.ru;
Ziganshin B.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Kazan State Agrarian University, Kazan;
E-mail: zigan66@mail.ru;
Shogenov Yu.Kh., Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
E-mail: yh1961s@yandex.ru

Аннотация

В статье представлены результаты внедрения системы дистанционного контроля и визуализации технологических процессов на базе SCADA-решений для малообъёмной биогазовой установки циклического действия, перерабатывающей 1 тонну бесподстилочного навоза крупного рогатого скота за технологический цикл продолжительностью 14 суток в термофильном режиме (55°С). Установка эксплуатируется на территории крестьянско-фермерского хозяйства в Рыбно-Слободском районе Республики Татарстан, полностью автоматизирована, управляется дистанционно через персональный компьютер и мобильное приложение, оснащена фильтром очистки биогаза от сероводорода и влаги для обеспечения коррозионной стойкости газового оборудования и повышения теплотворной способности топлива. За один технологический цикл из 1 тонны навоза крупного рогатого скота получается 80 м³ биогаза при содержании метана 78–86%. Цифровое моделирование гидродинамики реактора в ANSYS Fluent показало, что при частоте вращения мешалки 120 мин$^{-1}$ время достижения 95% однородности биомассы составляет 142 секунды. На практике переход с ручного контроля (два замера в сутки) на непрерывный дистанционный мониторинг дал ощутимые результаты. Разброс температуры в реакторе сократился с 1,8 до 0,3°С – в шесть раз. Потребление электроэнергии на перемешивание упало с 0,90 до 0,75 кВт·ч на кубометр субстрата, то есть на 16,7%. Выход биогаза за цикл вырос с 75,4 до 80,0 м³ – прирост 6,2%. Кроме того, датчики перепада давления на фильтре и концентрации сероводорода на выходе, встроенные в SCADA-систему, позволяют менять сорбент не по регламенту, а по факту –когда это действительно нужно. Это исключило и преждевременную замену, и проскок сероводорода в газгольдер. По итогам можно сказать, что дистанционный контроль и визуализация повышает энергоэффективность не-

больших биогазовых установок, особенно в условиях, когда держать штат квалифицированных операторов на селе проблематично.

Ключевые слова: биогазовая установка, термофильное сбраживание, дистанционный контроль, SCADA-система, визуализация, энергоэффективность, автоматизация, мониторинг, навоз КРС

Abstract

The article presents the results of implementing a remote monitoring and visualization system for technological processes based on SCADA solutions for a low-volume cyclic biogas plant processing 1 ton of unlittered cattle manure in a 14-day technological cycle in thermophilic mode (55°C). The plant is operated on the territory of a peasant farm enterprise in the Rybno-Slobodsky district of the Republic of Tatarstan, is fully automated, remotely controlled via a personal computer and mobile application, and is equipped with a biogas purification filter to remove hydrogen sulfide and moisture to ensure corrosion resistance of gas equipment and increase the calorific value of fuel. Over one technological cycle, 1 ton of cattle manure yields 80 m^3 of biogas with a methane content of 78–86%. Digital modeling of reactor hydrodynamics in ANSYS Fluent showed that at a stirrer speed of 120 rpm, the time to achieve 95% biomass homogeneity is 142 seconds. It has been experimentally confirmed that the transition from discrete manual monitoring with a frequency of 2 times a day to continuous remote monitoring made it possible to reduce the temperature variability in the reactor from 1.8 to 0.3°C, reduce the specific energy consumption for the agitator drive by 16.7% (from 0.90 to 0.75 kWh/m3 of substrate), and increase biogas output by 6.2% (from 75.4 to 80.0 m3 per cycle). In addition, differential pressure sensors on the filter and hydrogen sulfide concentration sensors at the outlet, integrated into the SCADA system, make it possible to replace the sorbent not according to a fixed schedule, but based on actual need – when it is really required. This eliminated both premature replacement and the leakage of hydrogen sulfide into the gas tank. The results obtained confirm that remote monitoring and visualization improve the energy efficiency of low-power biogas plants especially in conditions where maintaining a staff of qualified operators in rural areas is problematic.

Keywords: biogas plant, thermophilic fermentation, remote control, SCADA system, visualization, energy efficiency, automation, monitoring, cattle manure

Введение

Современное сельское хозяйство Российской Федерации характеризуется устойчивым трендом интенсификации животноводства, что сопровождается значительным увеличением объёмов органических отходов, в первую очередь навоза крупного рогатого скота. По данным Министерства сельского хозяйства РФ, годовое образование навоза в стране превышает 250 млн тонн, при этом фактическое использование органических удобрений в растениеводстве не превышает 10–15% от потребности, что создаёт как экологические риски, так и упущенные экономические возможности. В этом контексте биогазовые технологии представляют собой наиболее сбалансированное решение, позволяющее одновременно утилизировать отходы животноводства, получать возобновляемую энергию в виде биогаза и производить высококачественные органические удобрения – дигестаты, которые по агрохимическим показателям превосходят традиционный навоз благодаря сохранению азота в аммонийной форме и минерализации фосфора [1, 2].

Однако коммерческая эффективность биогазовых установок, особенно малой и средней мощности, сдерживается высокой чувствительностью анаэробного процесса к изменению внешних и внутренних факторов. Метанообразующие микроорганизмы, составляющие основу микробного консорциума в метантенках, чрезвычайно чувствительны к колебаниям температуры, pH, органической нагрузки и концентрации потенциальных ингибиторов. Как показано в работах Королева и Майкова [3], даже кратковременное отклонение температуры

от оптимального значения на 2–3°C в термофильном режиме (оптимум 50–55°C) вызывает замедление гидролиза и ацидогенеза, накопление летучих жирных кислот и, при отсутствии оперативного вмешательства, приводит к необратимому закисанию субстрата с полной остановкой метаногенеза [4]. Восстановление процесса в таких случаях требует значительных затрат на подогрев, добавление щелочных реагентов и повторный запуск инокулята, что увеличивает эксплуатационные расходы на 20–30% [5].

Качество получаемого биогаза также зависит от степени его очистки от примесей. Сырой биогаз содержит сероводород, аммиак и водяные пары, которые вызывают коррозию оборудования и снижают теплотворную способность газа [6]. Поэтому наличие фильтра очистки биогаза является обязательным элементом любой установки. Однако контроль состояния фильтра – перепада давления, степени насыщения сорбента – при ручном подходе выполняется нерегулярно, что ведёт либо к преждевременной замене (перерасход), либо к пропуску сероводорода в газовую магистраль [7,8].

Традиционная практика управления биогазовыми установками в отечественных фермерских хозяйствах базируется на периодическом (1–2 раза в сутки) снятии показаний с приборов и дискретных корректировках технологических режимов. Такой подход не позволяет своевременно выявлять ингибирование процесса на ранних стадиях, когда отклонения параметров ещё обратимы. Запаздывание управляющего воздействия при ручном контроле приводит к тому, что энергозатраты на последующую стабилизацию процесса превышают затраты на превентивное регулирование в 3–5 раз. Кроме того, квалифицированный персонал для обслуживания биогазовых установок в сельской местности является дефицитным ресурсом [9,10].

Решением указанных проблем выступает внедрение автоматизированных систем дистанционного контроля и визуализации технологических процессов на базе SCADA-технологий. В Казанском государственном аграрном университете разработана и прошла опытно-промышленные испытания малообъёмная биогазовая установка циклического действия, перерабатывающая 1 тонну навоза КРС за 14-суточный цикл в термофильном режиме, оснащённая фильтром очистки биогаза и управляемая дистанционно через персональный компьютер и мобильное приложение [11].

Целью настоящего исследования является количественная оценка влияния внедрения системы дистанционного контроля и визуализации на показатели энергоэффективности малообъёмной биогазовой установки циклического действия в термофильном режиме.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на пилотной биогазовой установке, расположенной на территории крестьянско-фермерского хозяйства в Рыбно-Слободском районе Республики Татарстан. Установка представляет собой вертикальный цилиндрический реактор, оснащённый иммерсионной лопастной мешалкой с регулируемой частотой вращения от 10 до 120 мин$^{-1}$, системой жидкостного термостатирования и системой сбора, очистки и учёта биогаза [12].

Сырьём служит бесподстилочный навоз крупного рогатого скота влажностью 88–92%. За один технологический цикл в реактор загружается 1 тонна навоза. Продолжительность цикла сбраживания составляет 14 суток. Температура в реакторе поддерживается на уровне 55±0,5°C. Выход биогаза за цикл составляет 80 м^3 при содержании метана 78–86%.

Система очистки биогаза включает фильтр-осушитель для удаления влаги и фильтр с активированным углём для удаления сероводорода. Установка оснащена датчиками давления до и после фильтра для контроля перепада давления и датчиком концентрации сероводорода на выходе. Система дистанционного контроля и визуализации разработана и внедрена в 2024 году. Её аппаратная часть включает измерительных преобразователей: термопары типа К для измерения температуры в трёх зонах реактора, pH-метр, манометры для контроля давления в реакторе и газгольдере, датчики перепада давления на фильтре, датчик концентра-

ции сероводорода на выходе фильтра, счётчик электроэнергии и газовый счётчик «Пульсар». Все датчики подключены к программируемому логическому контроллеру. Программная часть построена на базе SCADA-системы MasterSCADA 4D. Верхний уровень включает Web-интерфейс для удалённого доступа и мобильное приложение. Система отображает мнемосхему установки, тренды параметров, состояние фильтра и формирует оповещения при отклонениях. Автоматическое регулирование осуществляется по ПИД-алгоритмам для контуров температуры, pH и частоты вращения мешалки [13].

На рис. 1 представлена мнемосхема автоматизированной системы дистанционного контроля биогазовой установки, визуализированная в интерфейсе SCADA-системы.

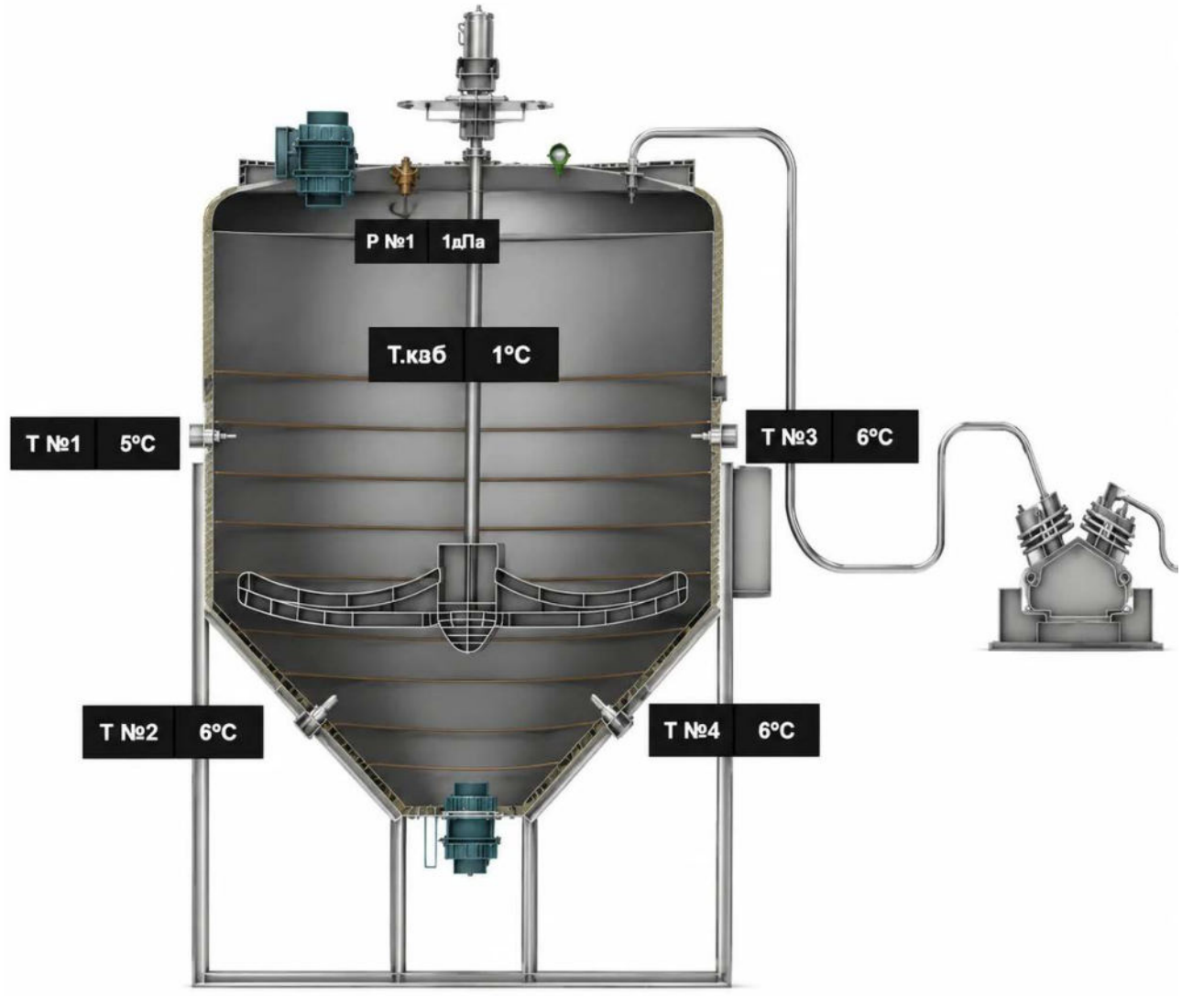


Рис. 1. Мнемосхема автоматизированной биогазовой установки

Мнемосхема отображает основные технологические узлы и контролируемые параметры в реальном времени, что обеспечивает оператору возможность дистанционного мониторинга состояния установки через персональный компьютер или мобильное приложение.

Методика эксперимента предполагала проведение сравнительных испытаний в двух режимах управления. Базовый имитировал традиционную практику управления с дискретным контролем: оператор снимал показания дважды в сутки. Тестовый период продолжительностью проводился при полностью автоматизированном управлении с непрерывным контролем параметров.

Результаты исследований и их обсуждение

Цифровое моделирование гидродинамических процессов в реакторе выполнялось с использованием программного комплекса ANSYS Fluent. На рис. 2 представлена трёхмерная цифровая модель реактора с визуализацией лопастной мешалки иммерсионного типа, интегрированной в рабочую зону резервуара. Модель построена по реальным размерам установки – по ней можно проследить, как движутся потоки внутри реактора, где жидкость застаивается, а где, наоборот, работает эффективно. Это помогло найти слабые места в форме лопастей и подобрать такую геометрию, при которой биомасса перемешивается равномерно, но без лишних затрат энергии. Чтобы убедиться, что расчёты не расходятся с реальностью, результаты моделирования сравнили с данными, полученными на физической копии реактора. Расхождение оказалось в пределах 8% – для инженерных задач это вполне приемлемо, так что модель можно использовать для дальнейших расчётов и масштабирования.

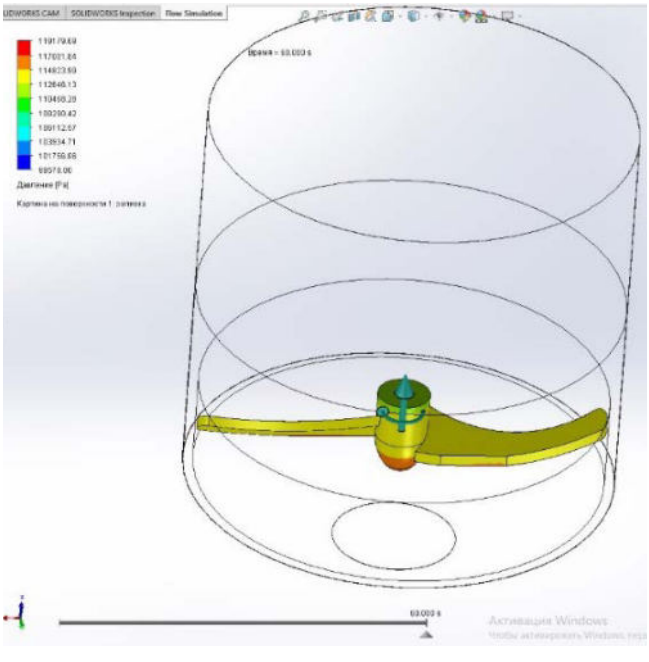
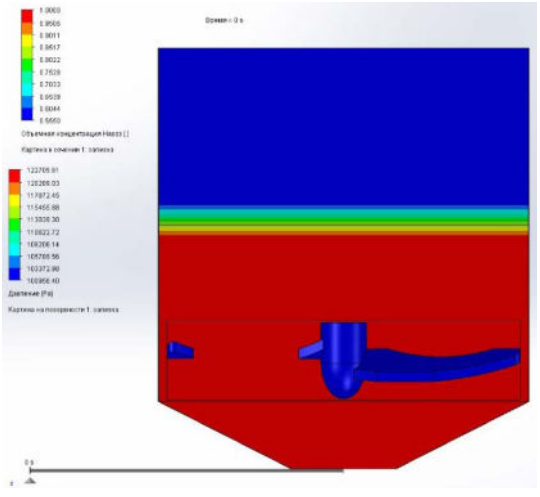


Рис. 2. Цифровая модель реактора с мешалкой

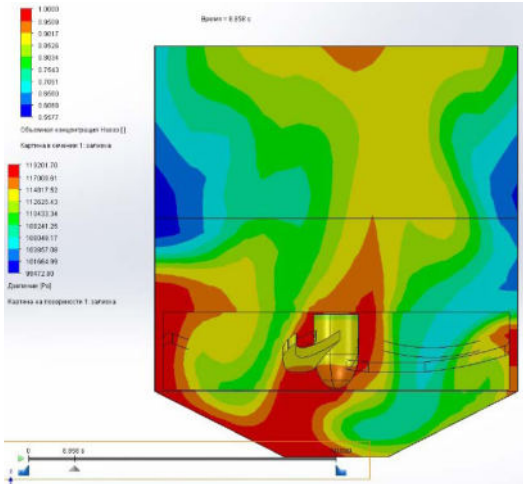
Цифровое моделирование гидродинамики реактора показало, что при частоте вращения мешалки 120 мин$^{-1}$ между лопастями возникает пара вихрей, которые вращаются в разные стороны. Эти вихри создают сдвиговые напряжения, необходимые для разрушения агломератов твёрдой фазы. Вблизи лопастей поток турбулизируется: число Рейнольдса достигает 4200, а скорость потока до 1,8 м/с, что обеспечивает эффективное диспергирование твёрдых частиц и хороший массообмен между микроорганизмами и субстратом. Время достижения 95% гомогенизации биомассы составило 142 с, что стало основой для разработки циклического режима работы мешалки.

На рисунке 3 представлены результаты моделирования распределения биомассы в реакторе на трёх последовательных этапах. В исходном состоянии (рис. 3, а) твёрдые частицы концентрируются в придонной зоне, скорость течения не превышает 0,01 м/с. Активация мешалки (рис. 3, б) создаёт восходящие потоки, транспортирующие осаждённые частицы в верхние слои. По завершении цикла (рис. 3, в) достигается гомогенное распределение фаз с колебаниями концентрации не более ±0,5%.

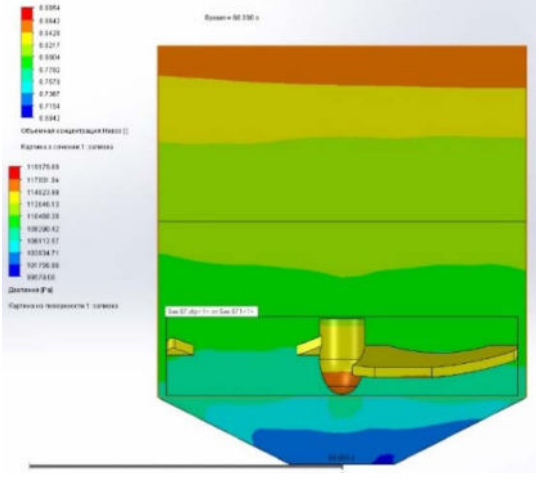
На рис. 4 представлены графики изменения температуры в четырёх контрольных точках реактора (датчики №1–№4) за характерные сутки непрерывной работы установки в термофильном режиме при автоматизированном SCADA-управлении.



а – исходное состояние биомассы



б – процесс смешивания



в – состояние после смешивания

Рис. 3. Моделирование процесса смешивания биомассы



Рис. 4. Графики изменения температуры в четырёх контрольных точках реактора

За сутки наблюдения температура во всех четырёх точках держится в коридоре 55±0,5°C, разброс минимальный, и это прямо говорит о том, что тепловой режим стабилен. Причём все четыре кривые на графике практически сливаются, то есть температурных перекосов ни по высоте, ни по окружности реактора нет. Такой равномерный прогрев достигается за счёт двух вещей: во-первых, иммерсионная мешалка работает эффективно, во-вторых, ПИД-регулятор системы термостатирования настроен правильно. Датчики №1-№4 показывают почти одинаковые значения, значит, конвекция обеспечивает полное выравнивание температуры по всему объёму биомассы. Отсутствие значительных расхождений между показаниями датчиков указывает на то, что конвективный теплообмен в реакторе работает так, как нужно, и температура во всём объёме одинаковая.

Стабильность температуры, которую мы видим на графиках, напрямую влияет на энергоэффективность установки. Когда температура не скачет, микробный консорциум не испытывает стресса, метаногенез идёт на максимальной скорости, и выход биогаза держится стабильно на уровне 80 м³ за 14-суточный цикл из одной тонны навоза. Постоянство температуры исключает стрессовые воздействия на микроорганизмы, что обеспечивает максимальную скорость метаногенеза и, как следствие, стабильный выход биогаза. И ещё один важный момент: отсутствие перепадов температуры по высоте реактора позволяет сократить затраты на перемешивание, поскольку мешалка работает не постоянно, а циклически, включаясь на 142 секунды для гомогенизации, а потом выключаясь на паузу. Кроме того, это снижает энергозатраты на перемешивание, потому что мешалка работает в циклическом режиме, а не непрерывно.

Сравнение двух режимов управления показало ощутимую разницу. При ручном контроле, когда оператор снимал показания дважды в сутки, среднеквадратичное отклонение температуры от заданных 55°C составляло 1,8°C. Как только подключили непрерывный SCADA-контроль с ПИД-регулированием, отклонение упало до 0,3°C, то есть в шесть раз меньше. И разница температур между нижней и верхней зонами реактора сократилась с 1,2 до 0,4°C, что тоже говорит о том, что автоматизация даёт результат.

Когда в реактор подаётся свежая порция холодного субстрата температурой около 15–20°C. При ручном управлении это вызывало падение температуры на 2–2,5°C, и оно держалось 4–6 часов. В автоматическом режиме система улавливает начало снижения температуры уже через 30–60 секунд и не даёт ей упасть больше чем на 0,8°C, а время восстановления не превышает 20 минут. Это более чем в 10 раз быстрее, чем при ручном управлении.

При ручном управлении было зафиксировано четыре случая, когда pH опускался ниже 6,8. В двух из них снижение продолжалось более 12 часов, что потребовало добавления гидрокарбоната натрия в повышенных дозах и последующего снижения органической нагрузки для восстановления микрофлоры. В автоматическом режиме система замечает начинающееся закисление на ранней стадии, на 0,1–0,15 единицы от заданного значения, и корректирует подачу реагента в течение 30–40 минут, удерживая pH в интервале 7,0–7,1 без значительных колебаний.

Но самый заметный эффект – в управлении перемешиванием. Раньше мешалка работала без остановки на 120 оборотах в минуту независимо от того, насколько активно микроорганизмы выделяли газ. Адаптивный алгоритм, который ориентируется на сигнал датчика давления газа, позволил перейти на циклический режим: включение на 142 секунды, потом пауза 30–60 минут. В периоды низкой метаногенной активности система автоматически сокращала число циклов перемешивания, а при увеличении газообразования – увеличивала. В итоге расход электроэнергии на перемешивание снизился с 0,90 до 0,75 кВт·ч на кубометр субстрата, экономия почти 17%. Выход биогаза за цикл в базовом периоде составлял в среднем 75,4 м³ при содержании метана 75,5%. В тестовом периоде он вырос до 80,0 м³, а метана стало 86%, прирост составил 6,2%. Коэффициент технического использования установки поднялся с 0,76 до 0,92, а простои сократились с 12 до 2 часов в месяц. Предотвращённые простои обу-

словлены своевременным обнаружением трёх потенциально критических ситуаций, которые при ручном контроле привели бы к остановке процесса.

Контроль за фильтром очистки биогаза через SCADA-систему тоже дал свой результат. Система отслеживает перепад давления и концентрацию сероводорода на выходе и сигнализирует, когда пора менять сорбент. При ручном контроле замена проводилась по регламенту через фиксированные интервалы, что часто приводило либо к преждевременной замене с перерасходом материалов, либо к запаздыванию и пропуску сероводорода. Благодаря автоматическому контролю фильтр меняют не по плану, а по факту, качество газа остаётся стабильным, сероводород не поднимается выше 10 ppm, и газовое оборудование служит дольше.

Всё это подтверждает, что визуализация температурных трендов в SCADA-интерфейсе даёт оператору возможность удалённо следить за процессом и вовремя замечать любые отклонения. Оператор, наблюдая график изменения температуры в реальном времени, может оценивать не только текущее значение, но и направление и скорость изменения параметра. Это позволяет прогнозировать развитие ситуации и принимать превентивные меры до того, как отклонение достигнет критического уровня. Система также формирует автоматические предупреждения при превышении скорости изменения температуры более чем на 0,5°C в час. А значит, система дистанционного контроля и визуализации реально повышает энергоэффективность биогазовой установки.

Выводы

Внедрение системы дистанционного контроля и визуализации на базе SCADA-технологий для малообъёмной биогазовой установки циклического действия (1 тонна навоза КРС за 14-суточный цикл, термофильный режим 55°C) позволило достичь следующих результатов.

Цифровая модель реактора с иммерсионной лопастной мешалкой обосновала циклический режим перемешивания (включение на 142 с), обеспечивающий 95% гомогенизацию биомассы при минимальных энергозатратах. Переход от дискретного ручного контроля к непрерывному автоматизированному управлению позволил снизить вариабельность температуры в шесть раз (среднеквадратичное отклонение уменьшилось с 1,8 до 0,3°C).

Адаптивный алгоритм управления перемешиванием обеспечил снижение удельного расхода электроэнергии на 16,7% (с 0,90 до 0,75 кВт·ч/м³). Выход биогаза за цикл повысился на 6,2% (с 75,4 до 80,0 м³). Коэффициент технического использования установки повысился с 0,76 до 0,92.

Интеграция датчиков состояния фильтра очистки биогаза в SCADA-систему позволила осуществлять своевременную замену сорбента по фактическому состоянию, обеспечивая стабильное качество биогаза.

Список литературы

1. Abdukarimov, B. A. Research of the Hydraulic Resistance Coefficient of Sunny Air Heaters with Bent Pipes During Turbulent Air Flow / B. A. Abdukarimov, A. A. Kuchkarov // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2022. – Vol. 15, № 1. – P. 14-23. – DOI 10.17516/1999-494X-0370.

2. Получение биогаза из отходов сельскохозяйственных животных / Н. Э. Маматов, А. К. Самыкбаев, Т. О. Осмонканов, Б. О. Аскаралиев // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. – 2018. – № 2 (47). – С. 279-282.

3. Королев, С. А. Решение задачи оптимального управления процессом метаногенеза на основе принципа максимума Понтрягина / С. А. Королев, Д. В. Майков // Компьютерные исследования и моделирование. – 2020. – Т. 12, № 2. – С. 357-367. – DOI 10.20537/2076-7633-2020-12-2-357-367.

4. The Rationale for a Safe Distance Between Fermenters for Biogas Production / S. V. Pozdieiev, V. V. Nizhnyk, Y. V. Ballo [et al.] // Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza. – 2018. – Vol. 51, № 3. – P. 60-67. – DOI 10.12845/bitp.51.3.2018.4.

5. Tretjakova, A. N. Electricity generation from biogas in Russia and Germany / A. N. Tretjakova, N. N. Zhuravleva // European Journal of Natural History. – 2020. – № 3. – P. 157-161.

6. Peculiarities of modeling the heat and mass transfer with accounting the scaling for biogas production reactors / G. E. Sakhmetova, A. M. Brener, V. V. Dilman [et al.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. – 2017. – Vol. 6, № 426. – P. 207-215.

7. Biotechnology: technology for production of biogas from organic products and its application / B. Bahtiar, G. Tursunbayeva, M. Beisenbaev, N. Karabekova // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2023. – № 1 (124). – P. 404-409. – DOI 10.52167/1609-1817-2023-124-1-404-409.

8. Производство биогаза из биомассы животноводства / Г. Турсунбаева, Б. Бахтияр, Г. Байжан, А. Мергалимова // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2022. – № 3 (122). – С. 171-181. – DOI 10.52167/1609-1817-2022-122-3-171-181.

9. Bekchanov, Sh. B. O'zbekistonda biogazning hozirgi holati va rivojlanish salohiyati / Sh. B. Bekchanov // Research Focus. – 2025. – Vol. 4, № 6. – P. 60-65. – DOI 10.5281/zenodo.15700979.

10. Mixing device design in a biogas plant: problems and perspectives / A. Sovetkanov, Y. Shayakhmetov, R. Sovetbayev, O. I. Morozov // Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences. – 2024. – № 2 (14). – P. 60-66. – DOI 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-8.

11. Results of experimental studies of a small-volume biogas plant / I. Kh. Gayfullin, B. G. Ziganshin, Z. M. Khaliullina [et al.] // BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2024). – Kazan: EDP Sciences, 2025. – P. 00012. – DOI 10.1051/bioconf/202516100012.

12. Применение биогазовой установки для получения биоудобрения из навоза КРС / И. Х. Гайфуллин, Б. Г. Зиганшин, Д. Т. Халиуллин, Ю. Х. Шогенов // Техника и технологии в животноводстве. – 2026. – Т. 16, № 1. – С. 109-116. – DOI 10.22314/27132064-2026-16-1-109.

13. Гайфуллин, И. Х. Совершенствование режимов работы биогазовой установки / И. Х. Гайфуллин, Б. Г. Зиганшин, Д. Т. Халиуллин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 20, № 2 (78). – С. 72-78. – DOI 10.12737/2073-0462-2025-72-78.

УДК 621.357:631.3:004.9

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАТИРАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Гималтдинов И.Х., к.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0003-2297-8950;
E-mail: kafedrarm@yandex.ru;
Адигамов Н.Р., д.т.н., профессор;
ORCID: 0009-0007-3647-1858;
E-mail: n-adigamov@rambler.ru;
Садыков М.Р., старший преподаватель;
ORCID: 0009-0003-9335-6080;
E-mail: marat3012@yandex.ru;
Айндинов Р.Р., аспирант ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0002-8451-4561;
E-mail: ajndinov@list.ru

DIGITAL MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR BRUSH ELECTROPLATING IN THE RESTORATION OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

Gimaltdinov I.Kh., PhD, Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-2297-8950;
E-mail: kafedrarm@yandex.ru;
Adigamov N.R., Doctor of Engineering, Professor;
ORCID: 0009-0007-3647-1858;
E-mail: n-adigamov@rambler.ru;
Sadykov M.R., Senior Lecturer;
ORCID: 0009-0003-9335-6080;
E-mail: marat3012@yandex.ru;
Aindinov R.R., Postgraduate Student, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0002-8451-4561;
E-mail: ajndinov@list.ru

Аннотация

В статье представлена цифровая система мониторинга и управления процессом электролитического натирания при восстановлении изношенных поверхностей деталей машин агропромышленного комплекса. Актуальность работы обусловлена тем, что при ручном ведении процесса качество покрытия зависит от устойчивости плотности тока, расхода электролита, температуры раствора, усилия контакта анода и фактической площади взаимодействия. Цель исследования заключалась в разработке расчетно-структурной схемы цифрового контроля, позволяющей стабилизировать технологические параметры и оперативно выявлять отклонения при нанесении покрытия. В методике рассмотрены измерительный, вычислительный и исполнительный уровни системы, а также зависимости для определения активной площади контакта, плотности тока, массы осаждаемого металла, скорости осаждения, ошибки регулирования и себестоимости операции. Отдельное внимание уделено применению датчиков тока, напряжения, температуры, расхода и усилия, поскольку эти сигналы позволяют не только корректировать режим, но и сохранять фактическую историю восстановления каждой детали в единой электронной карте. Для расчетного примера приняты параметры восстановления цилиндрической поверхности: диаметр 100 мм, ширина контакта 35 мм, сила тока 18 А, напряжение 9,8 В, температура электролита 70 °С и расход 1,4 л/мин. Установлено, что расчетная скорость осаждения никелевого покрытия составляет 216,5 мкм/ч, а измеренная скорость при стабилизации режима достигает 238 мкм/ч. По результатам моделирования работы обратной связи средняя относительная ошибка управления снизилась с 4,55 до 0,31 % в течение 8 мин после запуска. Расчет себестоимости показал, что восстановление слоя толщиной 150 мкм обходится в 670,75 руб. на одну деталь при сохранении технологической прослеживаемости операции. Практическая значимость системы состоит в повышении повторяемости качества, сокращении брака, формировании цифрового журнала режимов и создании базы параметров для типовых восстановительных операций в ремонтных мастерских. Сформулированный подход может использоваться как основа для внедрения цифрового журнала ремонтной операции, последующей оценки качества покрытия и корректировки технологических режимов в условиях ремонтной мастерской.

Ключевые слова: электролитическое натирание, цифровая система, восстановление деталей, машины АПК, мониторинг, управление, плотность тока, расход электролита, скорость осаждения, покрытие

Abstract

The article presents a digital monitoring and control system for brush electroplating used to restore worn surfaces of agricultural machinery parts. The relevance of the study is determined by the dependence of coating quality on the stability of current density, electrolyte flow rate, solution temperature, anode contact force, and actual interaction area during manual operation. The aim was to develop a computational and structural scheme for digital control capable of stabilizing technological parameters and promptly detecting deviations during coating deposition. The methodology considers the measurement, computing, and actuator levels of the system, together with relationships for determining the active contact area, current density, deposited metal mass, deposition rate, control error, energy consumption, and operation cost. Current, voltage, temperature, flow-rate, and force sensors are used both to correct the operating mode and to record the actual restoration history of each part in a unified electronic log. A cylindrical surface with a diameter of 100 mm and a contact width of 35 mm was used in the calculation example; the current was 18 A, the voltage was 9.8 V, the electrolyte temperature was 70 °C, and the flow rate was 1.4 L/min. The calculated nickel coating deposition rate was 216.5 μm/h, while the measured rate under stabilized conditions reached 238 μm/h. Feedback-control simulation showed that the mean relative control error decreased from 4.55% to 0.31% within eight minutes after startup. The calculated cost of restoring a 150 μm layer was RUB 670.75 per part while maintaining technological traceability. The practical value of the system lies in improving quality repeatability, reducing defects, creating a digital process log, and accumulating operating data for standard restoration procedures in repair workshops. The proposed approach can support subsequent coating-quality assessment and adaptive adjustment of technological parameters.

Keywords: brush electroplating; digital system; part restoration; agricultural machinery; monitoring; control; current density; electrolyte flow rate; deposition rate; coating

Введение

Восстановление деталей машин агропромышленного комплекса снижает затраты на технический сервис и сокращает простой техники в сезон полевых работ. Электролитическое натирание позволяет локально наращивать металл на изношенной поверхности без погружения детали в ванну, что важно для валов, посадочных мест под подшипники, корпусов гидроцилиндров и внутренних цилиндрических поверхностей.

Недостаток ручного ведения процесса состоит в нестабильности режима: меняются температура электролита, расход раствора, усилие контакта анода и фактическая плотность тока. В современных гальванических технологиях качество покрытия связывается с измерением параметров в реальном времени и управлением исполнительными механизмами [3]. Цель работы – разработать расчетно-структурную схему цифровой системы мониторинга и управления процессом электролитического натирания при восстановлении деталей машин АПК.

Методика

Объектом управления принят процесс электролитического натирания цилиндрической поверхности. Роликовый анод перемещается вдоль зоны износа, а электролит подается непосредственно в область контакта анода и катодной поверхности; такая схема соответствует принципам локального электроосаждения, описанным в работах. Контролируемые параметры приведены в табл. 1.

Измерительный уровень системы содержит датчик тока, датчик напряжения, термодатчик, расходомер, датчик усилия и энкодер. Вычислительный модуль сравнивает фактические значения с заданием и формирует управляющие воздействия на источник постоянного тока, насос-дозатор и привод перемещения анода. Принцип построения измерительного и управляющего контуров соответствует современным системам автоматического контроля гальванических процессов [1].

Таблица 1

Контролируемые параметры цифровой системы

Параметр	Обозначение	Диапазон	Назначение
Сила тока	I	0-30 А	Поддержание плотности тока
Напряжение	U	0-24 В	Контроль контакта и перегрузки
Температура электролита	T	20-80 °C	Стабилизация раствора
Расход электролита	Q	0,2-2,0 л/мин	Обновление зоны контакта
Усилие прижима	F	20-120 Н	Постоянство контакта анода
Скорость перемещения	vп	0,1-5,0 мм/с	Равномерность слоя

Активную площадь контакта анода с поверхностью определяли следующим образом:

$$S_a = \pi d b k_c, \quad (1)$$

где S_a – активная площадь, м^2; d – диаметр поверхности, м; b – ширина контакта, м; k_c – коэффициент фактического контакта.

Плотность тока рассчитывали как отношение силы тока к активной площади контакта [4]:

$$j = \frac{I}{S_a}, \quad (2)$$

где j – плотность тока, А/дм^2; I – сила тока, А; S_a – активная площадь, дм^2.

Массу осаждаемого металла определяли в соответствии с законом Фарадея:

$$m = \frac{MI\eta\tau}{zF_0}, \quad (3)$$

где m – масса металла, г; M – молярная масса, г/моль; η – выход по току; τ – время, с; z – число электронов; F_0 – постоянная Фарадея.

Среднюю скорость осаждения покрытия рассчитывали с учетом массы, плотности металла и площади контакта:

$$v_h = \frac{m}{\rho S_a \tau} \cdot 10^4 \cdot 3600, \quad (4)$$

где v_h – скорость осаждения, мкм/ч; ρ – плотность покрытия, г/см^3; S_a – площадь контакта, см^2.

Качество регулирования оценивали по средней относительной ошибке:

$$e = \frac{1}{3}\left(\left|\frac{I_{изм} - I_{зад}}{I_{зад}}\right| + \left|\frac{T_{изм} - T_{зад}}{T_{зад}}\right| + \left|\frac{Q_{изм} - Q_{зад}}{Q_{зад}}\right|\right) \cdot 100. \quad (5)$$

Энергетические затраты и себестоимость операции определяли по расчетным зависимостям, применяемым при технико-экономической оценке восстановительных процессов [7]:

$$P = \frac{UI}{1000}, \qquad W = P\tau, \quad (6)$$

$$C_{в} = C_{э} + C_{эл} + C_{м} + C_{зп} + C_{н}. \quad (7)$$

Основная часть

Для расчетного примера приняты: диаметр поверхности 100 мм, ширина зоны контакта 35 мм, коэффициент контакта 0,82, сила тока 18 А, напряжение 9,8 В, температура электролита 70 °С, расход 1,4 л/мин. Для никелевого покрытия использованы: M = 58,69 г/моль, z = 2, ρ = 8,90 г/см3, η = 0,88 [8].

Подстановка исходных данных в зависимость для активной площади дает:

$$S_a = 3{,}14 \cdot 0{,}100 \cdot 0{,}035 \cdot 0{,}82 = 0{,}0090 \text{ м}^2 = 0{,}90 \text{ дм}^2. \quad (8)$$

Расчетная плотность тока равна:

$$j = \frac{18}{0{,}90} = 20{,}0 \text{ А/дм}^2. \quad (9)$$

Масса осаждаемого металла за 1 ч составляет:

$$m = \frac{58{,}69 \cdot 18 \cdot 0{,}88 \cdot 3600}{2 \cdot 96485} = 17{,}34 \text{ г/ч}. \quad (10)$$

Расчетная скорость осаждения:

$$v_h = \frac{17{,}34}{8{,}90 \cdot 90} \cdot 10^4 = 216{,}5 \text{ мкм/ч}. \quad (11)$$

Полученные расчетные и измеренные параметры процесса приведены в таблице 2.

Таблица 2

Расчетные и измеренные параметры процесса

№	T, °C	I, A	Q, л/мин	j, А/дм²	vрасч, мкм/ч	vизм, мкм/ч	HRC	Износ, мм³/(Н·м)
1	50	10	0,6	11,11	120,3	132	42,8	8,3
2	55	12	0,8	13,33	144,3	151	44,2	7,4
3	60	14	1,0	15,56	168,4	181	45,6	6,6
4	65	16	1,2	17,78	192,5	208	47,9	5,7
5	70	18	1,4	20,00	216,5	238	50,1	4,9

По данным табл. 2, увеличение силы тока с 10 до 18 А при повышении температуры и расхода электролита приводит к росту измеренной скорости осаждения со 132 до 238 мкм/ч. Твердость покрытия возрастает с 42,8 до 50,1 HRC, а интенсивность изнашивания снижается с 8,3 до 4,9 мм³/(Н·м). Перед рис. 1 представлена связь расчетной и измеренной скорости осаждения с режимом процесса.

Система управления работает по принципу обратной связи. После ввода заданного режима контроллер принимает данные с датчиков, фильтрует кратковременные помехи, рассчитывает ошибку и корректирует источник питания, насос и привод перемещения [5]. Динамика стабилизации приведена в табл. 3.

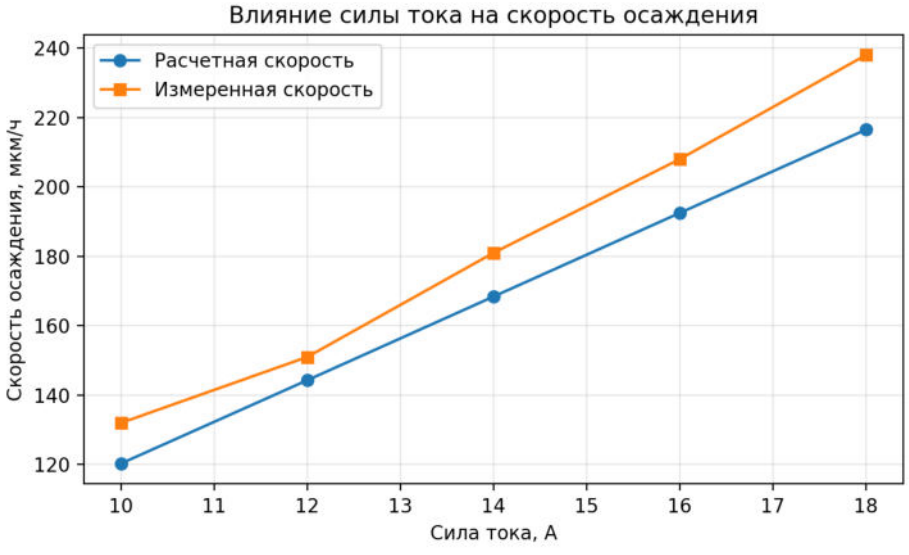


Рис. 1. Влияние силы тока на расчетную и измеренную скорость осаждения

Таблица 3

Динамика стабилизации параметров цифровой системой

Время, мин	$I_{зад}$, А	$I_{изм}$, А	$T_{зад}$, °C	$T_{изм}$, °C	$Q_{зад}$, л/мин	$Q_{изм}$, л/мин	Ошибка e, %
0	18	17,2	70	68,1	1,4	1,25	4,55
2	18	17,6	70	68,9	1,4	1,31	3,02
4	18	17,9	70	69,4	1,4	1,36	1,58
6	18	18,1	70	69,8	1,4	1,39	0,58
8	18	18,0	70	70,1	1,4	1,41	0,31
10	18	18,0	70	70,0	1,4	1,40	0,00

Через 6–8 мин. средняя ошибка снижается ниже 1%, а параметры находятся в зоне технологического допуска. На рис. 2 показано снижение ошибки после включения цифрового управления.

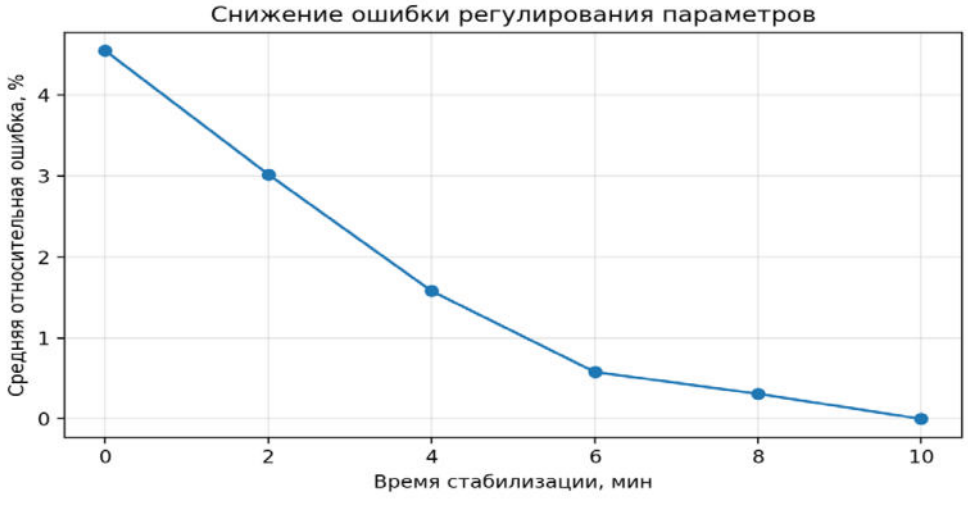


Рис. 2. Снижение средней относительной ошибки регулирования

Если измеренная скорость осаждения ниже расчетной более чем на 12 %, программа предлагает проверить анодную ткань, контакт, температуру и концентрацию электролита. Рост напряжения при неизменном токе указывает на ухудшение электрического контакта или повышение сопротивления слоя. Такой подход согласуется с современными представлениями о гальванических процессах, где качество определяется совокупностью электрических, химических и гидродинамических факторов.

Для оценки технологической эффективности рассчитаны энергозатраты и себестоимость. При U = 9,8 В и I = 18 А мощность установки равна [2]:

$$P = \frac{9{,}8 \cdot 18}{1000} = 0{,}176 \text{ кВт}. \quad (12)$$

Для восстановления слоя толщиной 150 мкм при измеренной скорости 238 мкм/ч продолжительность нанесения составляет [6]:

$$\tau = \frac{150}{238} = 0{,}63 \text{ ч}. \quad (13)$$

Расход электроэнергии:

$$W = 0{,}176 \cdot 0{,}63 = 0{,}111 \text{ кВт·ч}. \quad (14)$$

Расчет себестоимости восстановления приведен в табл. 4.

Таблица 4

Расчет себестоимости восстановления одной детали

Показатель	Значение	Ед. изм.	Примечание
Требуемая толщина покрытия	150	мкм	Исходное условие
Скорость осаждения	238	мкм/ч	Оптимальный режим
Время нанесения	0,63	ч	h/v
Стоимость электроэнергии	0,83	руб.	W·сэ
Стоимость электролита	58,00	руб.	Расход на операцию
Расходные материалы	65,00	руб.	Анодная ткань, промывка
Основная заработная плата	405,13	руб.	Нанесение и подготовка
Накладные расходы	141,79	руб.	35% от оплаты труда
Себестоимость восстановления	670,75	руб.	Сумма затрат

В ремонтной мастерской эффект цифровизации проявляется в снижении повторных работ и разброса толщины покрытия. Цифровой журнал фиксирует фактический режим, предупреждения о перегреве, остановку подачи электролита и завершение операции. Накопленные данные могут формировать базу режимов для типовых деталей, что приближает операцию к цифровому двойнику процесса.

Выводы

Разработана структурная схема цифровой системы мониторинга и управления процессом электролитического натирания, включающая измерительный, вычислительный и исполнительный уровни.

1. Предложены расчетные зависимости для определения активной площади контакта, плотности тока, массы осаждаемого металла, скорости формирования покрытия, ошибки регулирования и себестоимости восстановления.

2. Для никелевого покрытия получена расчетная скорость осаждения 216,5 мкм/ч; измеренная скорость при стабилизации температуры 70 °C и расхода электролита 1,4 л/мин составила 238 мкм/ч.

3. Использование обратной связи снизило среднюю относительную ошибку регулирования с 4,55 до 0,31% за 8 мин после запуска, что подтверждает технологическую целесообразность цифрового контроля.

4. Себестоимость восстановления слоя толщиной 150 мкм составила 670,75 руб. Основной резерв эффективности связан с сокращением брака, уменьшением повторных операций и повышением повторяемости качества восстановленных деталей.

Список литературы

1. Садыков, М. Р. Восстановление деталей машин электролитическим натиранием / М. Р. Садыков, И. Х. Гималтдинов, Н. Р. Адигамов [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 6 (324). – С. 37–41.

2. Садыков, М. Р. Обоснование параметров установки электролитического натирания / М. Р. Садыков, И. Х. Гималтдинов, Н. Р. Адигамов [и др.] // Сельский механизатор. – 2024. – № 4. – С. 46–48.

3. Leiden, A. Model-based analysis, control and dosing of electroplating electrolytes / A. Leiden, S. Kölle, S. Thiede [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – Vol. 111. – P. 1751–1766. – DOI: 10.1007/s00170-020-06190-0.

4. Birk, W. Automatic generation and updating of process industrial digital twins for estimation and control: a review / W. Birk, A. D. Solvang, A. Storkaas // Frontiers in Control Engineering. – 2022. – Vol. 3. – Article 954858. – DOI: 10.3389/fcteg.2022.954858.

5. Gugua, E. C. Electroplating in the modern era, improvements and challenges: a review / E. C. Gugua, C. O. Ujah, C. O. Asadu [et al.] // Hybrid Advances. – 2024. – Vol. 7. – Article 100286. – DOI: 10.1016/j.hybadv.2024.100286.

6. Wang, X. Multi-physics simulation and optimization of jet electrodeposition for Ni-diamond composite coatings / X. Wang, C. C. Chou, X. Zhou, X. Bao, Q. Zhang // Metals. – 2024. – Vol. 14, № 8. – Article 887. – DOI: 10.3390/met14080887.

7. Reddah, I. Experimental investigation and optimization of the electrodeposition parameters of Ni-Al2O3 composite coating using the Taguchi method / I. Reddah [et al.] // Coatings. – 2025. – Vol. 15, № 4. – Article 482. – DOI: 10.3390/coatings15040482.

8. Li, Y. Optimization of deposition parameters for Ni-P-WC-BN(h) composite coatings via orthogonal experimentation and wear behavior of the optimized coating / Y. Li, Z. Liu, Y. Li, J. Lin // Metals. – 2024. – Vol. 14, № 11. – Article 1284. – DOI: 10.3390/met14111284.

УДК 591.524.11

ВЫЯВЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ГРУППИРОВКАМИ *EINFELDIA PAGANA* (DIPTERA: CHIRONOMIDAE) С УЧЁТОМ АЛЛОМЕТРИИ В ОТСУТСТВИЕ РЕФРЕННОГО ПРИЗНАКА

Горбунов Р.П., младший научный сотрудник;
ORCID: 0009-0006-3849-2006;
Бердник С.В., научный сотрудник Института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0003-8261-2421

DENTIFICATION OF KEY MORPHOMETRIC TRAITS DISTINGUISHING *EINFELDIA PAGANA* (DIPTERA: CHIRONOMIDAE) GROUPS, ACCOUNTING FOR ALLOMETRY IN THE ABSENCE OF A REFERENCE TRAIT

Gorbunov R.P., Research;
ORCID: 0009-0006-3849-2006;
Berdnik S.V., Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0003-8261-2421

Аннотация

Сравнение групп организмов по комплексу морфометрических признаков затруднено взаимной корреляцией признаков и влиянием аллометрического роста, которое может маскировать истинные различия между группировками. В работе предложен метод выявления ключевых морфометрических признаков, позволяющий оценить вклад каждого признака в различия между экотопическими группами при отсутствии заранее выбранного референтного признака размера. Исследование проведено на личинках 3-го и 4-го возрастов, собранных на глубинах 2 и 4 м. Метод включает: логарифмическую трансформацию признаков, построение регрессии логарифма значения признака по логарифмическому среднему геометрическому, извлечение и стандартизацию остатков, вычисление координат центроидов групп, пермутационный многомерный дисперсионный анализ (PERMANOVA) для оценки достоверности различий и расчёт D Коэна как меры силы эффекта для каждого признака в каждой паре групп. Показано, что различия между биотопами превышают различия между возрастными группами, что свидетельствует об успешной поправке на общие размеры личинок. Ключевым признаком, определяющим различия между всеми сравниваемыми группами, оказалась длина головы, предположительно отражающая общие размеры тела. Для личинок 3-го возраста дополнительным значимым признаком явилась ширина вентроментальных пластинок. Предложенный подход, отличающийся простотой и консервативностью, позволяет предметно оценить вклад отдельных морфометрических признаков в комплексные межгрупповые различия и может быть полезен в биоиндикационных исследованиях. Отмечено, что в отсутствие референтного признака результаты зависят от выбранного набора органов, что требует единообразия методики при планировании серийных исследований.

Ключевые слова: морфометрия, аллометрия, Einfeldia pagana, хирономиды, PERMANOVA, D Коэна, биоиндикация

Abstract

Comparison of organism groups by a set of morphometric traits is complicated by mutual correlation among traits and the influence of allometric growth, which can mask true differences between groups. This study proposes a method for identifying key morphometric traits that allows assessing the contribution of each trait to differences between ecotopic groups in the absence of a preselected reference size trait. The study was conducted on third- and fourth-instar larvae collected at depths of 2 and 4 m. The method includes logarithmic transformation of traits, regression of the log-transformed trait value on the logarithmic geometric mean, extraction and standardization of residuals, computation of group centroid coordinates, permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) to assess the significance of differences, and calculation of Cohen's d as an effect size measure for each trait in each pair of groups. It is shown that differences between habitats exceed those between age groups, indicating a successful correction for overall larval size. Head length proved to be the key trait determining differences across all compared groups, presumably reflecting overall body size. For third-instar larvae, an additional significant trait was the width of the ventromental plates. The proposed approach, distinguished by its simplicity and conservatism, allows a substantive assessment of the contribution of individual morphometric traits to complex intergroup differences and may be useful in bioassessment studies. It is noted that in the absence of a reference trait, results depend on the selected set of organs, which requires methodological consistency when planning serial studies.

Keywords: morphometrics, allometry, Einfeldia pagana, chironomids, PERMANOVA, Cohen's d, bioassessment

Введение

Выявление и сравнение степени отличий между группами организмов на основе нескольких морфометрических признаков сопряжено с рядом проблем. Главная из них – наличие корреляции между морфометрическим признаками. Как правило, эта проблема решается использованием расстояний Махаланобиса, представляющих собой Евклидовы расстояния в многомерном пространстве с поправкой на ковариационную матрицу с последующей кластеризацией [1]. Однако если цель – выявление ключевых морфометрических признаков, расстояние Махаланобиса менее интерпретируемо и проявляется в результате канонического анализа с оценками нагрузок признаков на разные оси [2]. Учитывая, что «облака» исследуемых групп находятся в многомерном пространстве, оценка вклада различных признаков для конкретной пары групп остаётся неочевидной.

Также важно учитывать размер организма при использовании метрики расстояний, так как банальное преобладание более молодых особей в отдельной выборке приведёт к завышенному расстоянию по отношению к ней. При этом, то, какой орган будет вносить наибольший вклад в различия, будет зависеть от степени аллометрии. Так, если некоторый признак имеет сильную аллометрию, например, увеличивается быстрее остальных органов, то и возрастные отличия в первую очередь выделят именно этот признак. Однако, нашей целью является выявление тех признаков, по которым группировки различаются в наибольшей степени, несмотря на общие особенности аллометрического роста у данного вида.

Стандартным приёмом в таком случае является линейная регрессия размеров органов по референтному признаку, с последующим анализом остатков, который показывает себя даже лучше, чем анализ главных компонент, несмотря на консервативность метода. Однако сейчас данный подход используется, как правило, в геометрической морфометрии [3,4]. Классическая формула аллометрии выглядит как $y = ax^b$ либо, в логарифмическом виде, $\log(y) = b\log(x)+\log(a)$, где y – анализируемый признак, x – референтный признак (как правило – масса тела). В нашем исследовании мы предположили, что все признаки – равнозначны и могут служить индикаторами различий между популяциями. Поэтому, было решено исполь-

зовать в качестве референтного признака логарифм среднего геометрического всех используемых промеров, как значение отражающее аспект размера тела [5].

Целью исследования было оценить степень различий между двумя экотопическими группировками личинок комаров звонцов *Einfeldia pagana* (Meigen, 1838), обитающих на разных глубинах и представленных 3-м и 4-м возрастами, то есть, значительно отличающихся по размеру и, предположительно, имеющих аллометрический характер роста для различных признаков. Также, целью было выявить ключевые органы, определяющие различия между популяциями и различными возрастами, с учётом аллометрии признаков.

Материал и методика

Озеро Комсомольское (N55.8573, E49.2271), расположено в г. Казани и имеет искусственное происхождение (1959 г.), площадь 1.76 га, длина около 340 м, максимальная ширина – 85 м, глубина до 4.5 м. По химическому составу вода относится к сульфатно-кальциевому классу с повышенным уровнем минерализации 0.88–0.95 г/дм^3 и жесткостью 15–20°Ж [6], что создает условия, благоприятные для обитания личинок *Einfeldia pagana*.

Пробы отбирались с помощью дночерпателя Петерсена на двух станциях:

1) Глубина 2–2.5 м. Дата отбора: 24.10.2019. Глинистый ил, редкие харовые водоросли. Количество растворенного кислорода: 6.8 ± 0.7 мг/дм^3, химическое потребление кислорода: 6.9 ± 2.1 мг/дм^3;

2) Глубина 4 м. Дата отбора: 16.10.2020. Глинисто-песчаный ил, макрофитов нет. Количество растворенного кислорода: 4.9 ± 0.2 мг/дм^3, химическое потребление кислорода: 11.8 ± 2.8 мг/дм^3.

Пробы фиксировались в 70% спирте. После фиксации были промерены по 35 экземпляров личинок 3 и 4 возрастов, всего 70 личинок.

Возраст личинок определялся исходя из данных о размерах личинок [7, 8]. В пробах также присутствовали личинки более раннего (2-го) возраста, позволявшие удостовериться в правильности определения возраста.

Предыдущее исследование [9] позволило выделить признаки, наиболее подходящие для морфометического анализа, на основе коэффициента вариации признака и гомогенности дисперсии между группами. Для оценки различий между группировками были выбраны 7 признаков головной капсулы: длина и ширина головной капсулы, ширина и высота вентроментальных пластинок (VP), ширина центрального зуба ментума (CTW), ширина внутренних зубов мандибулы (ITW) и расстояние между щетинками клипеуса SIII. Измерения проводились на временных препаратах под микроскопом с помощью окуляр-микрометра. Головные капсулы выдерживались в 10 % растворе едкого калия (KOH) для осветления.

Статистическая обработка

Статистическая обработка осуществлялась следующим образом:

1) Получение логарифма геометрического среднего по выбранным признакам для каждой личинки (логарифмическое среднее);

2) Построение регрессии логарифма значения признака по логарифмическому среднему и получение остатков. Регрессии строились для каждого признака каждой личинки для всего объема данных, чтобы выявить общую тенденцию для вида на примере имеющейся выборки. Для данного этапа коэффициент детерминации и уровни достоверности не имеют значения, так как главная задача – вычесть аллометрию из размеров признаков;

3) Получение уровней достоверности регрессии для отличия наклона от 0 (коэффициента при зависимой переменной, получаем в результатах регрессии) и отличия наклона от 1 с помощью теста Стьюдента для оценки изометрии. Если отличие от 1 недостоверно, орган растет изометрически.

4) Получение остатков регрессии и стандартизация их, приведением к z-значению ($z = (x-\mu)/\sigma$, где μ – математическое ожидание, σ – стандартное отклонение). Стандартизация

обеспечивает одинаковый масштаб остатков, нивелируя влияние различия в размерах между органами.

5) Получение координат центроидов, как среднее значение остатков для каждого признака внутри группы, их абсолютных различий в евклидовой метрике и матрицы расстояний.

6) Проводя пермутационный многомерный дисперсионный анализ (PERMANOVA), получаем уровень достоверности различий между группами. Также, проводится тест на многомерную гетероскедастичность между группами для определения валидности PERMANOVA.

7) Вычисление D Коэна [10] для каждого признака в каждой паре групп, как меры силы эффекта. D<0.2 – пренебрежимо малый эффект, 0.2<D<0.5 – слабый эффект, 0.5<D<0.8 – средний, D>0.8 – сильный эффект. На основе D Коэна выбирается ключевой признак для каждой пары групп.

8) Признак, имеющий максимальную дисперсию центроидов, принимается как ключевой для отличий между группами.

По результатам анализа строились дендрограммы с тепловыми картами корреляции.

Вычисления проводились в среде R [11] с применением библиотек «vegan» [12]: вычисление PERMANOVA и многомерной дисперсии, и «pheatmap» [13]: построение тепловых карт корреляций.

Результаты

Для анализа данные по морфометрии личинок *Einfeldia pagana* были разбиты на 4 группы: биотопы с глубинами 2 м и 4 м с третьим и четвёртым возрастом личинок в каждом. Результаты аллометрической регрессии отражены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты регрессии размеров признаков по логарифму среднего геометрического измеренных признаков. P-level (изометрия) показывает достоверность отличия наклона от единицы

Признак	R^2	p-level	p-level (изометрия)	Наклон
Длина головы	0.969	<0.0001	<0.0001	0.895
Ширина головы	0.974	<0.0001	0.0435	1.034
Ширина VP	0.977	<0.0001	0.4020	0.988
Высота VP	0.974	<0.0001	<0.0001	0.821
CTW	0.973	<0.0001	<0.0001	1.112
ITW	0.969	<0.0001	<0.0001	1.089
Расстояние SIII	0.948	<0.0001	0.0093	0.009

Для размеров всех выбранных органов выявлена достоверная зависимость от среднего размера. Изометрический рост отмечается для ширины вентроментальных пластинок. Тест на гомогенность дисперсии показал применимость PERMANOVA (p = 0.184). Согласно результатам PERMANOVA, различия между группами достоверны (p=0.002), однако доля вариации, объяснённой выбранными группами составляет только 5.6%.

Матрица Евклидовых расстояний между группами отражена в табл. 2.

Наибольшее расстояние отмечается между биотопами для личинок 4 возраста, наименьшее – между личинками 4-го возраста на глубине 2 м и личинками 4-го возраста на глубине 4 м.

Отличия средней силы (табл. 3.) отмечаются между третьим и четвертым возрастами по длине головы. Для прочих пар отличия сильные, личинки третьего возраста с глубины в 2 м отличаются шириной вентроментальных пластинок, личинки 4-го возраста с глубины 4 м – длиной головы.

Таблица 2

Матрица Евклидовых расстояний между группами *Einfeldia pagana*, разделённых по глубине обитания и возрасту личинок, на основе остатков регрессии

Группы	2 м, 3-й возр.	2 м, 4-й возр.	4 м, 3-й возр.	4 м, 4-й возр.
2 м, 3-й возр.	–	0.802	0.997	1.069
2 м, 4-й возр.	0.802	–	0.717	1.445
4 м, 3-й возр.	0.997	0.717	–	0.962
4 м, 4-й возр.	1.069	1.445	0.962	–

Таблица 3

Признаки, имеющие набольшее значение D Коэна (по модулю) для пар групп

Группы	Ключевой орган	D Коэна
2 м, 3-й возр. vs 4 м, 3-й возр.	Ширина VP	0.82
2 м, 4-й возр. vs 4м, 4-й возр	Длина головы	1.03
2м, 3-й возр. vs 2м, 4-й возр.	Ширина VP	0.91
4м, 3-й возр. vs 4м, 4-й возр.	Длина головы	0.69

Вклад остатков в различия между группами и дендрограммы на основе Евклидовых расстояний показаны на рис. 1.

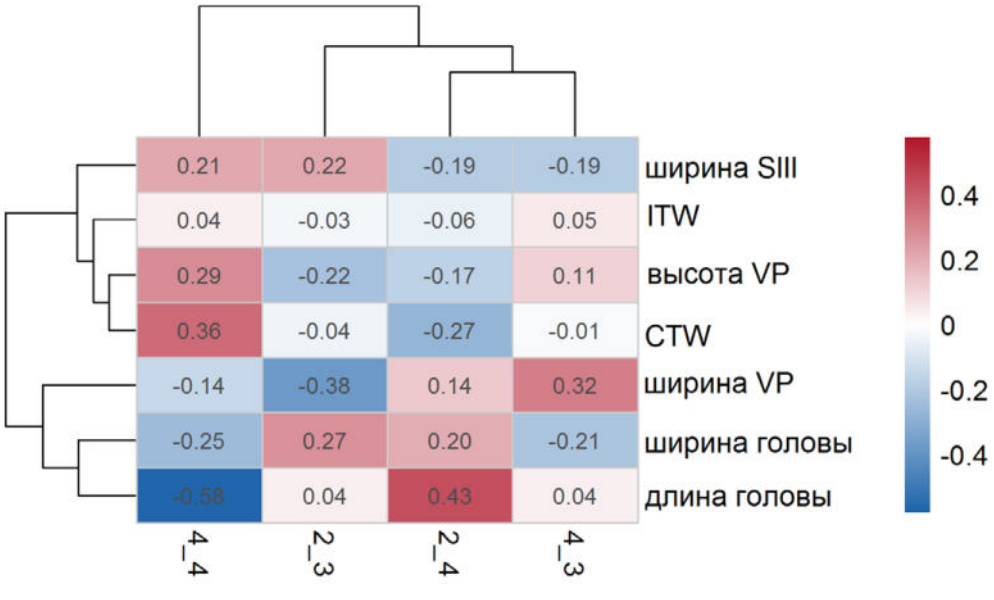


Рис. 1. Стандартизированные значения центроидов остатков признаков по группам

Дендрограммы построены методом иерархической кластеризации на основе евклидовых расстояний (вверху – между группами, слева – между признаками). Значения в клетках – отклонение группового среднего признака от общего среднего в единицах стандартного отклонения. Индексы групп закодированы как глубина_возраст. Ключевой признак для всех групп – длина головы.

Обсуждение

Согласно полученным результатам, несмотря на стандартизацию и поправку на аллометрию, личинки 4-го возраста отличаются между точками отбора в большей степени, чем личинки 3-го возраста. При этом, различия между биотопами превышают различия между возрастами, что говорит об успешно проведенной поправке на размеры личинок.

Наиболее важный признак – длина головы. Вероятно, это признак отражает общие размеры тела и личинки на большей глубине имеют меньшие значения этого признака.

Для личинок 3-го возраста важным признаком также является ширина вентроментальных пластинок, которые, вероятно, связаны с пищевым поведением и выделением шёлка [14]. На глубине 4 м вентроментальные пластинки имеют большую ширину, что, возможно, связано с необходимостью более эффективного потребления пищи.

Можно заключить, что предложенный метод, несмотря на простоту и консервативность, позволяет выявить признаки, играющие ключевую роль в проявлении комплексных морфологических различий между экотопическими группировками и предметно оценить их вклад, что может помочь в биоиндикационных исследованиях, при условии достаточной информации о роли выбранных признаков в жизнедеятельности организма. Также, следует заметить, что, в отсутствие референтного признака, результаты анализа в немалой степени зависят от выбранного набора органов, поэтому при планировании серии исследований следует придерживаться единообразия в методике.

Список литературы

1. Gao, L.-Z. Quantum K-nearest neighbors classification algorithm based on Mahalanobis distance / L.-Z. Gao, C.-Y. Lu, G.-D. Guo et al. // Frontiers in Physics. – 2022. – Vol. 10. – P. 1047466. – https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1047466.

2. Lara, Á. Hybrids versus parental species: insights from wing phenotype similarities and differences in triatomine insects / Á. Lara, M. L. Hernández, C. A. Yumiseva et al. // Frontiers in Insect Science. – 2025. – Vol. 5. – Art. 1547963. – https://doi.org/10.3389/finsc.2025.1547963.

3. Sansalone, G. Talpa fossilis or Talpa europaea? Using geometric morphometrics and allometric trajectories of humeral moles remains from Hungary to answer a taxonomic debate / G. Sansalone // Palaeontologia Electronica. – 2015. – https://doi.org/10.26879/560.

4. Klingenberg, C. P. Methods for studying allometry in geometric morphometrics: a comparison of performance / C. P. Klingenberg // Evolutionary Ecology. – 2022. – Vol. 36. – P. 439–470. – https://doi.org/10.1007/s10682-022-10170-z.

5. Mosimann, J. E. Size allometry: size and shape variables with characterizations of the lognormal and generalized gamma distributions / J. E. Mosimann // Journal of the American Statistical Association. – 1970. – Vol. 65, № 330. – P. 930–945. – https://doi.org/10.1080/01621459.1970.10481136.

6. Токинова, Р. П. Особенности населения макрофитов и фитофильной фауны в озере Комсомольское (г. Казань) в зимний период / Р. П. Токинова, Д. С. Любарский, Л. Е. Буторова // Озера Евразии: проблемы и пути их решения : материалы II Международной конференции / под ред. Р. Р. Шагидуллина и др. – Казань : Изд-во АН РТ, 2019. – Ч. 2. – С. 341–345.

7. McCauley, V. J. E. Instar differentiation in larval Chironomidae (Diptera) / V. J. E. McCauley // The Canadian Entomologist. – 1974. – Vol. 106, № 2. – P. 179–200. – https://doi.org/10.4039/Ent106179-2.

8. Wiederholm, T. Chironomidae of the Holarctic region. Part 1. Larvae / T. Wiederholm // Entomologica Scandinavica. Supplement. – 1983. – Vol. 19. – P. 149–291.

9. Gorbunov, R. Features of local morphometric variability of larvae Chironomidae on the example of Einfeldia pagana (Meigen, 1838) (Diptera: Chironomidae) / R. Gorbunov // Principy èkologii. – 2025. – № 4. – P. 19–30. – https://doi.org/10.15393/j1.art.2025.16302.

10. Cohen, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences / J. Cohen. – New York : Lawrence Erlbaum Associates, 1988. – 567 p.

11. R: a language and environment for statistical computing [electronic resource] / R Core Team. – Vienna (Austria) : R Foundation for Statistical Computing, 2026. – URL: https://www.R-project.org/.

12. Oksanen, J. vegan: community ecology package [electronic resource] / J. Oksanen, G. Simpson, F. Blanchet et al. – 2025. – URL: https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan.

13. Kolde, R. pheatmap: pretty heatmaps [electronic resource] / R. Kolde. – 2025. – R package version 1.0.13.

14. Webb, C. Ultrastructure of the striated ventromental plates and associated structures of larval Chironominae (Diptera: Chironomidae) and their rôle in silk-spinning / C. Webb, R. Wilson, J. McGill // Journal of Zoology. – 1981. – Vol. 194. – P. 67–84. – https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1981.tb04579.x.

УДК 556.162

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРИГОДОВОГО РЕЖИМА ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Горшкова А.Т., к.г.н., заведующая лабораторией;
ORCID: 0000-0002-9149-3714;
E-mail: asiya.gorshkova.57@mail.ru;
Горбунова В.П., младший научный сотрудник;
ORCID: 0009-0005-9243-7940;
Семанов Д.А., к.х.н., научный сотрудник;
ORCID: 0000-0001-6450-3051;
Бортникова Н.В., научный сотрудник;
ORCID: 0009-0003-4779-4178;
Давыдов Д.С., младший научный сотрудник Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-6759-6615

TRENDS OF CHANGE IN THE INTRA-ANNUAL REGIME OF RIVER FLOW FORMATION IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Gorshkova A.T., Ph.D. in Geography, Head of laboratory;
ORCID: 0000-0002-9149-3714;
E-mail: asiya.gorshkova.57@mail.ru;
Gorbunova V.P., Junior Researcher;
ORCID: 0009-0005-9243-7940;
Semanov D.A., Ph.D. in Chemistry, Researcher;
ORCID: 0000-0001-6450-3051;
Bortnikova N.V., Researcher;
ORCID: 0009-0003-4779-4178;
Davydov D.S., Junior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-6759-6615

Аннотация

В рамках выполнения государственного задания по изучению условий и характера формирования поверхностного стока на территории Республики Татарстан (РТ) гидрологи инсти-

тута проблем экологии и недропользования Академии наук РТ разработали Базу данных автоматизированной оценки водных ресурсов РТ (далее – БД АСОВР), расчётные модули которой позволяют проводить оценку состояния водных ресурсов в любой заданной точке оперативно-территориальных единиц. Объёмы имеющихся данных на сегодняшний день предоставляют возможность применения некоторых обобщающих статистических расчётов, достоверно выявляющих тренд направленности процессов.

Ключевые слова: база данных, водные ресурсы, статистика, тренд

Abstract

As part of the state assignment to study the conditions and nature of surface runoff formation in the Republic of Tatarstan, hydrologists from the Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences Tatarstan developed the Database for Automated Assessment of Water Resources of the Republic of Tatarstan. Its computational modules enable the assessment of the state of water resources at any given point within operational territorial units. The volume of currently available data allows for the application of certain generalized statistical calculations that reliably reveal the trend direction of the processes.

Keywords: database, water resources, statistics, trend

Введение

Обязательный гидрографический мониторинг охватывает сегодня 17 000 водоёмов и водотоков территории республики, включающих реки, пруды, озёра и крупные водохранилища. БД АСОВР снабжена директориями с необходимыми для корректировки аналитических расчётов данными мониторинга ФГБУ «УГМС РТ». Для получения достоверной оценки современного состояния географических объектов, необходимо применение системного подхода с учётом максимально возможного спектра характеристик географического объекта. Для анализа состояния водных объектов применяется бассейновый подход, при котором тщательно анализируется операционно-территориальные единицы отдельных водосборов водотоков и водоёмов. Созданные директории содержат данные о категории земельных ресурсов, о темпах и характере освоения земель, а также о наличии локальных источников загрязнения, количестве, протяжённости и уровня воздействия на естественную дренажную систему территорий линейных объектов, наконец, о нарушениях структуры естественно-природного экологического каркаса и о многом другом [1]. Большой объём цифровых данных позволяет применять некоторые системные математические методы обработки информации, в частности, такие как расчёт медианы.

Материалы и методы исследования

Внесённые в БД АСОВР ранее опубликованные Гидрометеоиздатом сведения и интерактивно обновляемые результатами натурных изысканий и расчётными величинами директории позволяют получать достоверную скорректированную информацию [2, 3, 4]. База данных раз в 10 лет издаётся в бумажном варианте в виде Гидрографического справочника «Водные объекты Республики Татарстан»; последнее дополненное и обновлённое издание датируется 2018 г. [5]. Набор встроенных инструментов использующейся кроссплатформенной геоинформационной системы Quantum GIS, снабжённой специализированными расчётными модулями, предназначенными для ведения, редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации с дешифровкой космических снимков систем QGIS и Google Earth Pro в разных временных проекция [6]. Также используются собственные расчётные модули, позволяющие достоверно проводить анализ ситуации на месте запрашиваемых оперативно-территориальных единиц, включающих водные объекты, а дистанционное зондирование позволяет определять координацию всех водных составляющих в структуре бассейнов, оценивать степень их гидродинамического взаимодействия, рассчитывать водный баланс, определять доли подземного и поверхностного питания, оценивать степень экологи-

ческого ущерба при нарушении природного баланса водообмена на водосборах, фиксировать наличие искусственных каналов и их гидротехнического оснащения.

Наличие данных 90-летнего временного периода предоставляет вариант выявления тенденций изменения динамики и тренда направленности процессов формирования поверхностного стока на территории РТ методом статистического обобщения по медиане [7, 8]. Для отдельных бассейнов рек такие расчёты по были сделаны в 2025 г. [9]. Во всех исследуемых бассейнах отчётливо фиксировалось снижение объёма половодья и его вклада в общий годовой сток. Несмотря на незначительное увеличение осадков в зимний период, при неизменном или слегка повышенном количестве осадков в межень, наблюдается рост расходов в меженный период, на что указывали и другие авторы. Было показано снижение среднемесячных апрельских расходов месяца половодья на реках РТ. Целью современных расчётов явилась проверка изменений в режимах половодья, влияние выхода половодья за рамки апреля, влияния температурных режимов на примере рек Берсут, Казанка и Кубня. Использовались среднесуточные расходы на гидрологических постах р. Берсут – с. Урманчеево (77193, 445 км^2), р. Казанка – г. Арск (77166, 650 км^2), р. Кубня – с. Чутеево (77164, 930 км^2) и данные по среднесуточным температурам, минимальным и максимальным суточным температурам по метеопостам г. Казани, с. Чулпаново и г. Елабуги [6].

Основные результаты

Исходные данные по среднесуточным наблюдениям расходов и дат начала и пика половодья были определены по описанной методике [10]. Данные, представленные на рис. 1, показывают постепенное снижение медиан пиковых среднесуточных расходов. Это подтверждает снижение расходов в течение половодья даже при наличии изменений во временных рамках половодья. На оси абсцисс (Ox) расположены показатели максимальных расходов воды в м^3/сек, на оси ординат временные периоды по имеющимся данным ФГБУ «УГМС РТ».

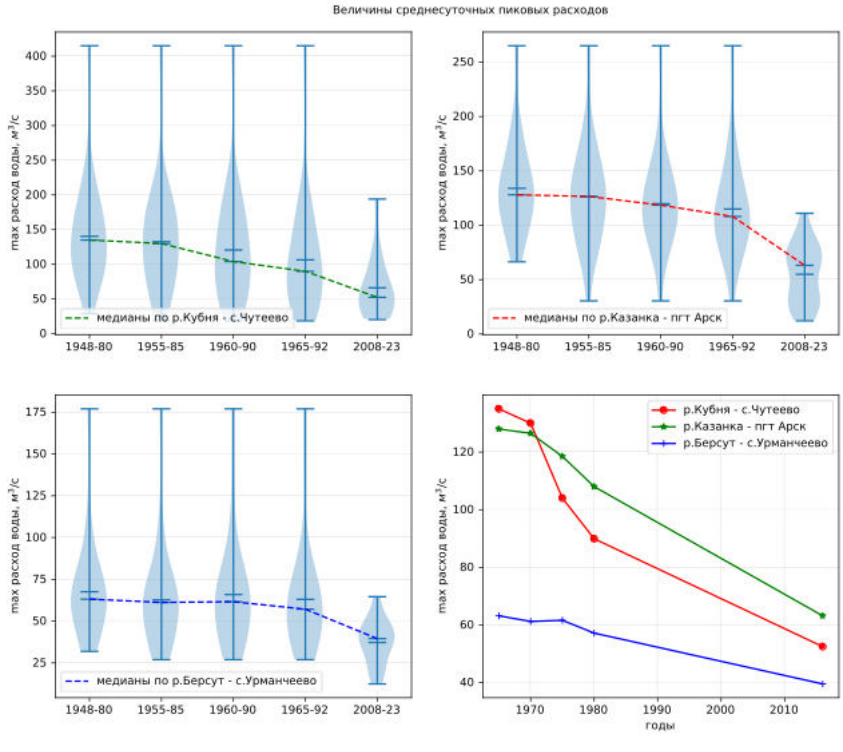


Рис. 1. Изменения в пиковых среднесуточных расходах

Медианы дат пиков половодья не показывают критических изменений смещения пиков половодья к более ранним срокам, но предельные значения всё же смещаются к более ранним срокам (рис. 2).

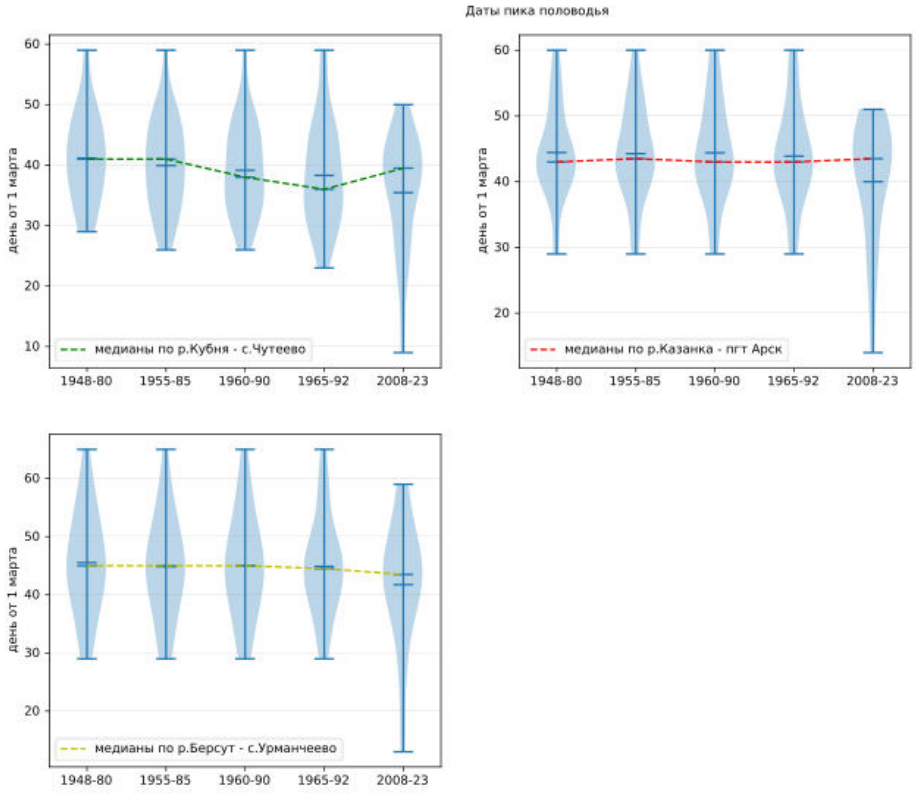


Рис. 2. Изменения в датах пиковых расходов

Графики для дат устойчивого перехода ряда температурных пределов, для среднесуточной, минимальной и максимальной суточной представлены на рис. 3-6.

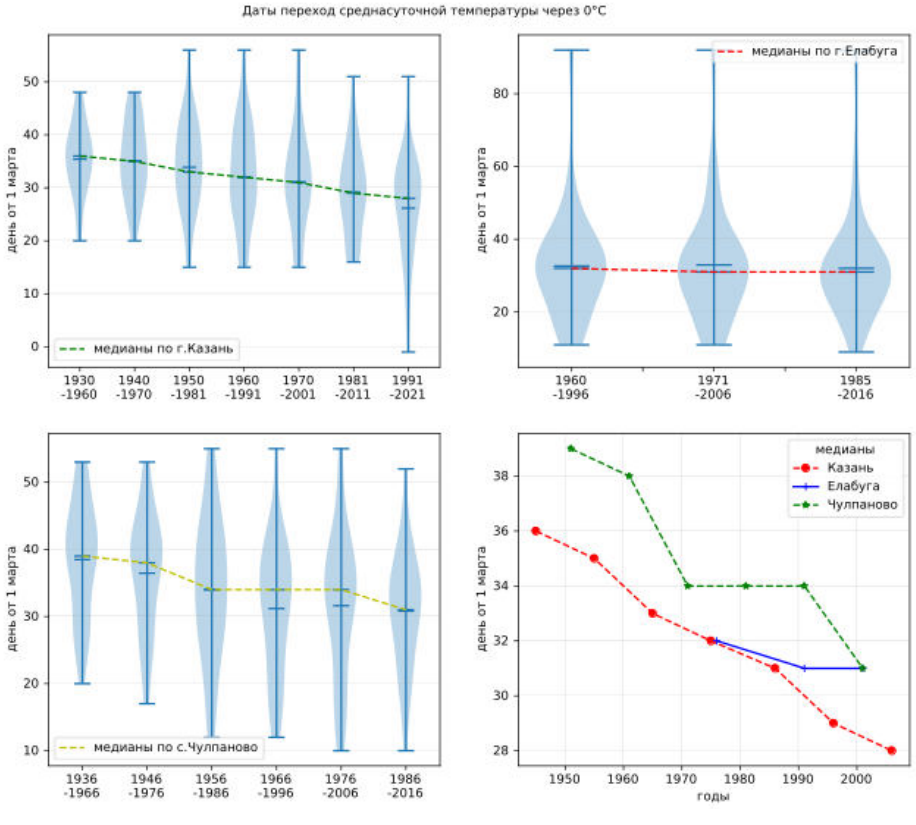


Рис. 3. Даты перехода среднесуточных температур через 0°C

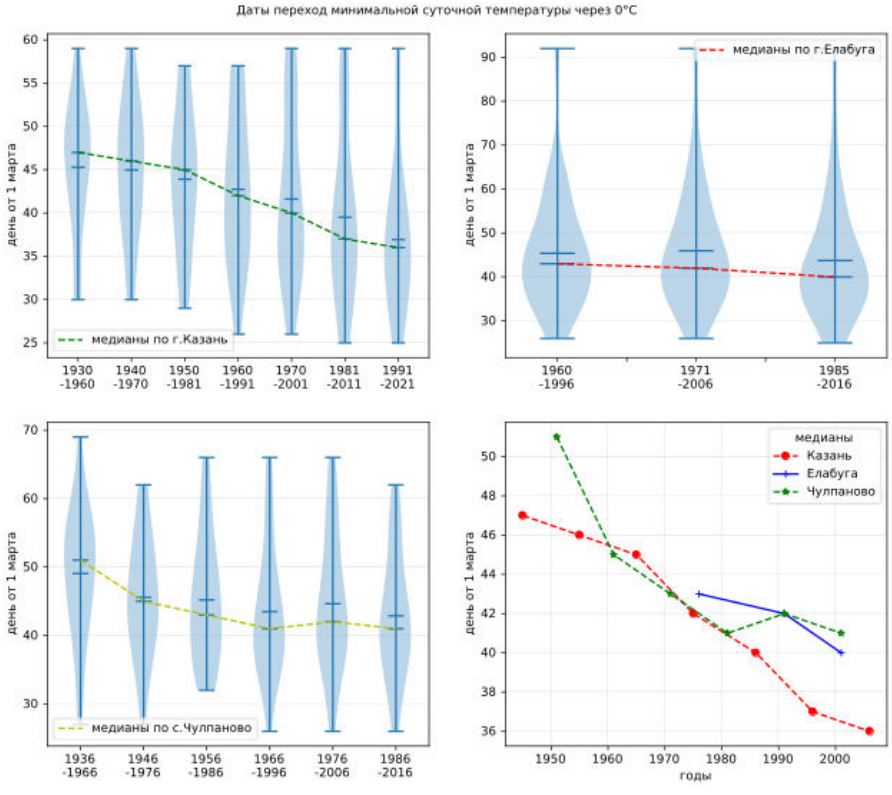


Рис. 4. Даты перехода минимальных суточных температур через 0°C

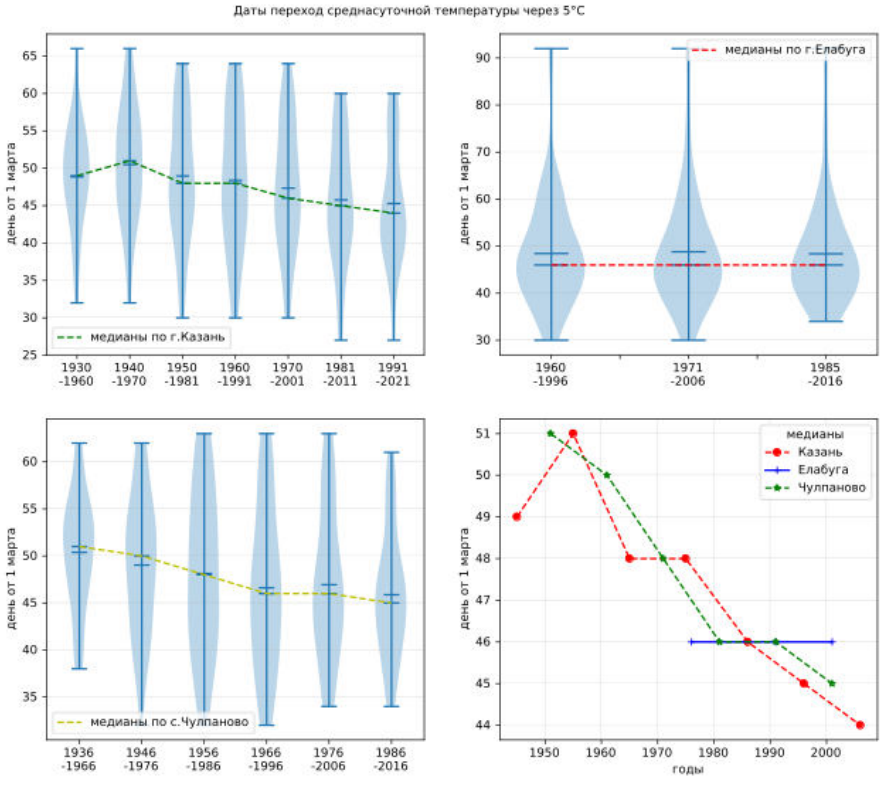


Рис. 5. Даты перехода среднесуточных температур через +5°C

Длинные ряды по г. Казань и с. Чулпаново показывают на устойчивые переходы через температурные пределы в более ранние сроки. Не противоречат этому утверждению и данные по г. Елабуга.

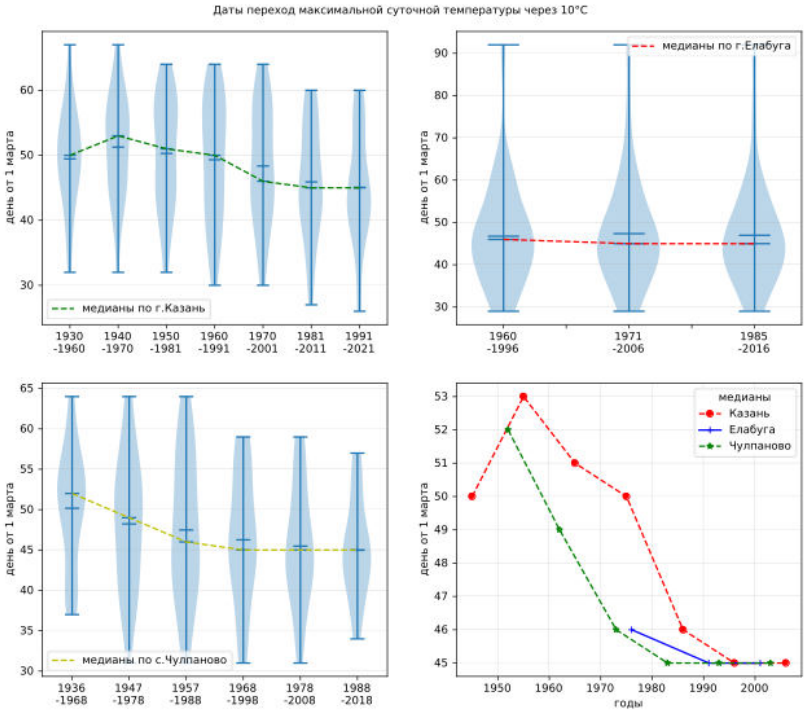


Рис. 6. Даты перехода максимальных суточных температур через +10°С

Тем не менее, отчётливого сдвига на более ранние сроки дат начала половодья и пиков половодья не наблюдается (рис. 7).

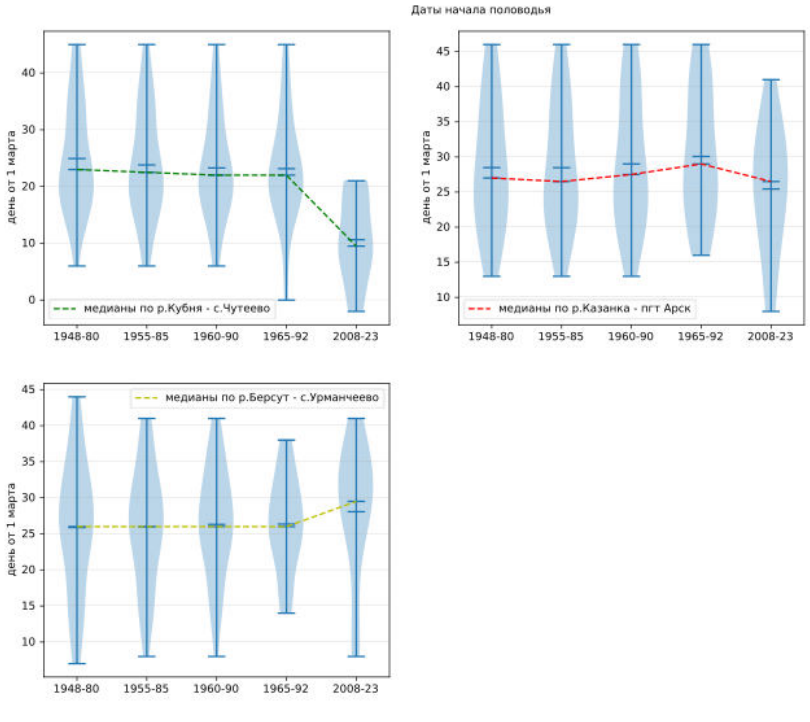


Рис. 7. Даты начала половодья

Даты окончания половодья определять сложно по причине наложения на конец половодья дождевых паводков, приводящих к локальным пикам расходов. По этой причине выбраны даты перехода к спокойным меженным стокам. Но и для такого перехода отчётливых изменений не наблюдается (рис. 8).

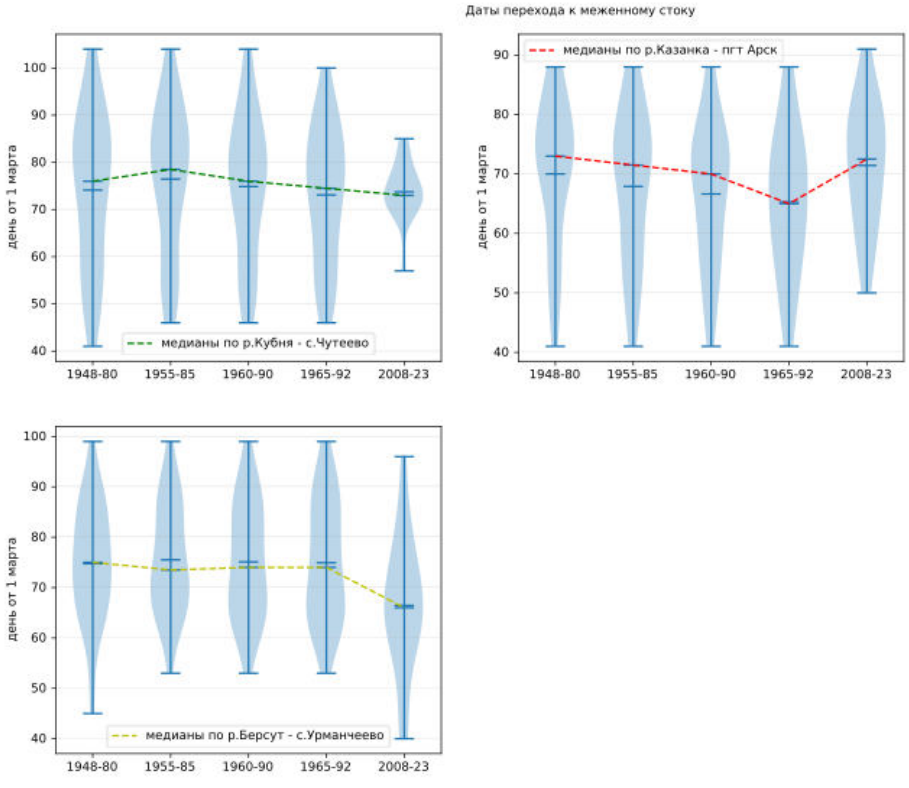


Рис. 8. Даты перехода по величинам меженного стока

Заключение

Таким образом, о тенденции смещения половодья на более ранние сроки говорить преждевременно. В случае приведённых в статье расчётов учитывали только значения максимальных пиковых расходов, но с полученным ранее снижением среднемесячного расхода в апреле можно с полной уверенностью говорить о сокращении объёмов половодья, по причине уменьшения промерзания земли, снижения доли поверхностного стока и перераспределения стока в пользу подземного.

Решение проблемы комплексного изучения процессов и условий формирования водных ресурсов на территории Республики Татарстан основано на разработанной системе гидролого-географических исследований водных ресурсов, предусматривающей многофакторный анализ условий формирования стока.

Список литературы

1. Урбанова, О. Н. Региональная автоматизированная система оценки водных ресурсов / О. Н. Урбанова, Д. А. Семанов, А. Т. Горшкова, Н. В. Бортникова, Р. А. Рыков, В. П. Горбунова // Kazan Digital Week: Сборник материалов международного форума (Казань, 20–22 сентября 2023 г.). – Казань: ГБУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности», 2023. – С. 236-241.

2. Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги: Научно-практический справочник / Коллектив авторов; под редакцией Георгиевского В.Ю. – Ливны : Издатель Мухаметов Г.В., 2015. – 129 с.

3. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 гг. и весь период наблюдений). Том 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Выпуск 1. Нижнее Поволжье. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 327 с.

4. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том. 1. РСФСР. Выпуск 24. Бассейны рек Волги (среднее и нижнее течение) и Урала. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 518 с.

5. Водные Объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. Издание второе, переработанное и дополненное. – Казань : Изд-во «Фолиант», 2018. – 512 с.

6. Горшкова, А. Т. Моделирование и анализ преобразований поверхностного стока в условиях цифровизации мониторинга / А. Т. Горшкова, В. П. Горбунова, Д. А. Семанов, Н. В. Бортникова // Международный форум «Kazan Digital Week – 2024»: сборник материалов международного форума (г. Казань, 9–11 сентября 2025 г.). – Казань : ОСП «НЦБЖД АН РТ». – 2025. – С. 271-276.

7. Попова, И. Н. Анализ временных рядов : учебник для вузов / И. Н. Попова ; ответственный редактор В. В. Ковалев. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 74 с.

8. Бокс Дж., Дженкинс Т. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – Москва : Мир, 1974. – 242 с.

9. Горшкова, А. Т. Оценка тренда изменения водности рек на территории Республики Татарстан / А. Т. Горшкова, Д. В. Семанов, В. П. Горбунова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. –025. – №10 (160). – С. 1-8.

10. Семанов, Д. А. Региональный подход к определению элементов весеннего половодья на реке Малый Черемшан / Д. А. Семанов, О. Н. Урабанова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – Новосибирск : Медиа центр, 2019. – № 5-2. – С. 9–15.

УДК 556.5:504.062:004.9

ИННОВАЦИОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, СОЗДАВАЕМЫЕ В ЦЕЛЯХ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ВОСПРОИЗВОДСТВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Горшкова А.Т., к.г.н., заведующая лабораторией;
ORCID: 0000-0002-9149-3714;
E-mail: asiya.gorshkova.57@mail.ru;
Горбунова В.П., младший научный сотрудник;
ORCID: 0009-0005-9243-7940;
Семанов Д.А., к.х.н., научный сотрудник;
ORCID: 0000-0001-6450-3051;
Бортникова Н.В., научный сотрудник;
ORCID: 0009-0003-4779-4178;
Давыдов Д.С., младший научный сотрудник Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-6759-6615

INNOVATIVE DIGITAL DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF HYDROLOGICAL RESEARCH, CREATED FOR THE PURPOSES OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AND REPRODUCTION OF WATER RESOURCES OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Gorshkova A.T., Ph.D. in Geography, Head of laboratory;
ORCID: 0000-0002-9149-3714;
E-mail: asiya.gorshkova.57@mail.ru;
Gorbunova V.P., Junior Researcher;
ORCID: 0009-0005-9243-7940;
Semanov D.A., Ph.D. in Chemistry, Researcher;
ORCID: 0000-0001-6450-3051;

Bortnikova N.V., Researcher;
ORCID: 0009-0003-4779-4178;
Davydov D.S., Junior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-6759-6615

Аннотация

В статье рассматривается проблема отсутствия единой программной среды для автоматизированного расчета и визуализации обеспеченности руслового стока рек Республики Татарстан и предлагается проект создания такой платформы. Предварительные расчёты на 90-летних данных выявили устойчивое снижение объёма весеннего половодья и его доли в годовом стоке, увеличение расходов в межень, обусловленное уменьшением промерзания почвы и усилением подземного питания рек; достоверность подтверждена данными государственной гидрометеорологической сети. Платформа объединит отдельные сведения о расходах воды, морфометрических, гидрохимических, биологических характеристиках рек, почвах, метеопараметрах и антропогенной нагрузке, обеспечив комплексный анализ и наглядную визуализацию результатов (графики, таблицы, интерактивные карты). Новизна состоит в создании регионально адаптированного инструмента, автоматизирующего гидрологические расчёты с учётом специфики малых и средних рек республики, учитывая фрагментарность существующих подходов. Ожидаемый программный продукт будет доступен научным, образовательным и водохозяйственным организациям, что повысит экологическую устойчивость региона и позволит эффективнее распределять водные ресурсы.

Ключевые слова: русловый сток; обеспеченность стока; автоматизированная система оценки водных ресурсов; геоинформационные технологии; база данных; гидрологическое моделирование; визуализация данных

Abstract

This article is devoted to investigate the addresses the absence of a unified software environment for the automated calculation and visualization of river flow exceedance probability in the Republic of Tatarstan and presents a project for such a platform. Preliminary calculations on 90-year data revealed a steady decline in spring flood volume and its contribution to annual runoff, with increased low-flow discharges caused by reduced soil freezing and greater groundwater input; the findings were verified against the state hydrometeorological network. The platform will consolidate individual data on water discharge, morphometric, hydrochemical, biological characteristics of rivers, soils, meteorological parameters and anthropogenic loads, providing comprehensive analysis and clear visualization (graphs, tables, interactive maps). Its novelty lies in a regionally adapted tool that automates hydrological computations tailored to the specific features of the small and medium rivers of the republic, taking into account the fragmented nature of existing approaches. The expected software product will be accessible to research, educational and water management institutions, thereby enhancing water resource management efficiency and the region's environmental sustainability.

Keywords: streamflow; flow exceedance probability; automated water resource assessment system; geoinformation technologies; database; hydrological modeling; data visualization

Введение

Вопросы изучения водного стока рек – важнейшего возобновляемого природного ресурса, лимитирующего хозяйственную деятельность человека, – относятся к наиболее актуальным в области гидроэкологических исследований. Фиксирующееся снижение количества руслового стока связано со значительной антропогенной нагрузкой на бассейновые геоэкосистемы, связанной с увеличением потребления воды на промышленные сельскохозяйственные, и хозяйственно-бытовые нужды и осложнённое массовым забором грунтовых и артезианских

вод, а также и с загрязнением водных объектов сточными водами. Неравномерное размещение по территории гидрологических постов и наблюдающаяся в последние десятилетия тенденция уменьшения их количества приводит к необходимости разработки надежных методов мониторинга и расчета величин речного стока, в том числе для гидрологически малоизученных резервных речных бассейнов. Получение статистически надежных и фактически обоснованных моделей формирования водного стока рек с последующим прогнозированием величин стока является важным этапом решения задач рационального использования водных ресурсов и регулируемого функционирования водохозяйственного комплекса страны.

Семнадцать тысяч водоёмов и водотоков территории Республики Татарстан находятся под постоянным контролем специалистов лаборатории гидрологии института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан. Для такого значимого количества географических и гидрографически взаимосвязанных водных объектов требуется совершенная система упорядочивания сведений в разрезе геоморфологии бассейновых пространств. В настоящее время информация о поверхностных водных объектах сосредоточена в Базе Данных Автоматизированной Системы Оценки Водных Ресурсов территории Республики Татарстан – БД АСОВР РТ, снабженной специализированными расчётными модулями и многочисленными тематическими директориями [1, 2]. Основным гидрологическим характеристикам ежедневных, декадных, месячных, годовых и среднемноголетних уровней и расходов воды с перерасчётами на обеспеченные 50%, 75%, 95% показатели, слои стока и модули подземного питания отдаётся особый приоритетный статус. Также БД АСОВР содержит директории по количественным показателям твердого стока, физических и химических особенностях природных вод,, почвенном покрове бассейнов и геологической основе местности, о наличии водоносных горизонтов, коэффициентов лесистости и процентной доли сельскохозяйственных угодий на водосборах, количественной доле диффузного стока, локализации линейных и точечных источников загрязнения, структуре и количестве видового состава флоры и фауны, необходимых для расчётов биоценотической емкости среды и полноценности функционирующих экосистем, обеспечивающих процессы саморегуляции природных систем. В БД заносятся в обязательном порядке и метеорологические данные по количеству осадков зимнего и летнего периодов, уровнях промерзания почвы, суточные данные о температурах и влажности воздуха, облачности, скорости ветра. Геоинформационные технологии помогают оперативно производить задаваемые расчёты. При этом искусственный интеллект (ИИ), предварительно обученный на огромном количестве цифрового материала, объективнее исследователя оценивает экологическую обстановку, поскольку математическая обработка с субстанциональной точки зрения представляется идеальной, а по способу выражения формализованной с учётом того, что в науках о земле, в частности, в географии давно используются формализованные знаковые модели, выраженные графическим языком (карты, графики, трёхмерная модель земли – глобус и пр.).

Для решения конкретных задач создаются отдельные программные модули. Так созданы БД «Zoo» и программное обеспечение к ней Пр ЭВМ «Зоопланктон» (для экологической экспертизы) [3, 4]. Интерактивная БД «Диатомовые водоросли» (для целей судмедэкспертизы) и программное обеспечение к ней [5, 6]. БД «Морфометрические характеристики речной сети Республики Татарстан» и программное обеспечение к ней [7, 8]. БД «Гидрологические характеристики малых водотоков территории Республики Татарстан» для обеспечения количественного учёта водных ресурсов программное обеспечение к ней [9, 10]. Все цифровые наработки проходят обязательную процедуру патентования и регистрацию Федеральной службой по интеллектуальной собственности «Роспатент».

На сегодняшний день в Республике Татарстан накоплены обширные базы данных о расходах воды, морфометрических характеристиках и классификационных признаках рек, но имеющиеся сведения преимущественно используются в рамках локальных исследований

и расчетов, что существенно затрудняет комплексный анализ и снижает эффективность практического применения.

В настоящее время разрабатывается проект по созданию единой интегрированной платформы анализа обеспеченности стока рек территории Республики Татарстан, целью которого является программный продукт, предназначенный для автоматизированного расчета и картографической визуализации показателей обеспеченности.

Область исследования относится к фундаментальной гидрологии и практике управления использованием водных ресурсов, где особую значимость приобретают инструменты прогнозирования и анализа обеспеченности руслового стока рек. Обеспеченность стока является ключевым показателем водного баланса, необходимым как для научных целей, так и для прикладных задач – от оценки экологического состояния водных экосистем до планирования водохозяйственной политики.

Современные исследования в данной области в России и за рубежом ориентированы на разработку цифровых гидрологических моделей и геоинформационных (ГИС) решений. В Республике Татарстан отсутствует интегрированная система, которая объединяла бы существующие данные и позволяла проводить автоматизированный расчет обеспеченности стока с последующей визуализацией в удобной форме, поскольку действительно назрела необходимость создания программного продукта, объединяющего существующие базы данных и реализующего современные методы анализа и визуализации обеспеченности стока рек, что позволит повысить качество научных исследований, эффективность управления водными ресурсами и экологическую устойчивость региона.

В задачи разработки проекта входят: создание алгоритмов расчета обеспеченности стока с использованием статистических методов и экстраполяции; формирование базы данных расходов воды, морфометрических характеристик и классификаций рек; создание модулей визуализации, включающих графики, таблицы и картографическое отображение; подготовка методических рекомендаций для научного и прикладного использования программы.

Ожидаемым результатом будет: готовый программный продукт «Интегрированная платформа анализа обеспеченности стока рек Республики Татарстан», обеспечивающей оперативный автоматизированный расчет, системное хранение и геоинформационную визуализацию данных по обеспеченности стока, с возможностью практического применения в научных исследованиях, водохозяйственном планировании и экологическом мониторинге., позволяющий оперативно и наглядно анализировать пространственно-временную картину обеспеченности поверхностного стока на территории Республики Татарстан. Программа будет запатентована и доступна к применению широким кругам специалистов.

Достоверность результирующего анализа подтверждается многолетними рядами данных исследований водных объектов Республики Татарстан, корректирующимися с многолетними же данными ФГБУ «УГМС Республики Татарстан», натурными данными ежегодных экспедиционных обследований, результатами расчётов специализированных модулей и созданием геоинформационных картографических материалов для оценки состояния водных систем. Несмотря на наличие значительного массива гидрологических данных по водным объектам Республики Татарстан, в настоящее время отсутствует интегрированная программная среда, обеспечивающая автоматизированный расчет и комплексную визуализацию обеспеченности руслового стока. Существующие исследования и расчеты выполняются локально, что затрудняет оперативный анализ, снижает точность прогнозов и ограничивает возможности практического применения результатов в сфере управления водными ресурсами и экологического мониторинга. Специалисты сталкиваются с рядом таких трудностей, как высокая трудоемкость и длительность проведения расчетов обеспеченности стока и водного баланса при использовании традиционных методов; отсутствие единого инструмента для сопоставления данных по расходам, морфометрическим характеристикам и классификации рек; доступности результатов для органов власти, научных и образовательных организаций; недостаточ-

ная наглядность представления информации, что снижает эффективность принятия решений в сфере водохозяйственного планирования.

Для реализации проекта планируется использовать сочетание классических гидрологических методов, современных статистических инструментов и технологий программной инженерии:

1. Гидрологические методы

– вероятностно-статистический анализ рядов стока (метод обеспеченности по эмпирическим распределениям и кривым обеспеченности);

– использование методов экстраполяции и интерполяции для восполнения неполных данных по расходам рек;

– морфометрический анализ бассейнов рек для уточнения расчетов и верификации получаемых результатов.

2. Математико-статистические подходы

– применение регрессионных моделей и методов корреляционного анализа для выявления зависимостей между морфометрическими характеристиками рек и их водным стоком;

– расчет доверительных интервалов и вероятностных оценок для повышения надежности результатов;

– использование автоматизированных алгоритмов проверки качества исходных данных.

3. Информационные технологии

– создание единой реляционной базы данных для хранения гидрологических показателей и морфометрических характеристик рек;

– разработка программного модуля для расчетов обеспеченности стока на языке высокого уровня (Python, C++ или аналог);

– внедрение инструментов визуализации данных (графики, таблицы, диаграммы, интерактивные карты);

– интеграция с ГИС-технологиями для пространственного анализа и картографического отображения обеспеченности стока.

4. Подход к реализации проекта

– модульная архитектура программы, обеспечивающая возможность расширения функционала;

– апробация разработанного продукта на реальных данных по малым и средним рекам Республики Татарстан;

– верификация результатов расчетов путем сопоставления с данными наблюдений и экспертными оценками гидрологов;

– подготовка методических рекомендаций для практического применения продукта научными, образовательными и водохозяйственными организациями.

Таким образом, проект сочетает в себе проверенные методы гидрологии и современные цифровые технологии, что обеспечивает высокую точность расчетов, удобство анализа и широкую сферу применения полученных результатов.

Новизна разработки заключается в создании единой цифровой базы, объединяющей гидрологические ряды расходов, морфометрические характеристики и классификацию рек для автоматизированного анализа обеспеченности стока и автоматизации расчётов обеспеченности стока. Также в интерактивной визуализации посредством внедрения модулей наглядного отображения результатов (графики, диаграммы, карты), обеспечивающих полное представление о вариабельности стока и повышение доступности данных для специалистов и органов управления.

Научно-практическая значимость проекта «Интегрированная платформа анализа обеспеченности стока рек Республики Татарстан» в возможности сочетания таких фундаментальных задач как разработка и проверка методик интегрального анализа обеспеченности стока как прикладного результата в виде готового патентуемого программного продукта, доступно-

го для научных, образовательных и водохозяйственных организаций. Платформа представляет региональный программный продукт, адаптированный под гидрологические условия Республики Татарстан, что позволяет учитывать специфику малых и средних рек региона, не отражённую в общероссийских или зарубежных аналогах.

Выводы

Предварительные результаты использования отдельных модулей продукта позволили уже на стадии разработки выявить некоторые важные тенденции процессов формирования поверхностного стока на территории Республики Татарстан за последние полвека. В частности, наличие данных за 90-летний временной период предоставляет вариант выявления тенденций изменения динамики и тренда направленности процессов формирования поверхностного стока на территории Республики Татарстан методом статистического обобщения по медиане.

В исследованных бассейнах рек с длительным периодом наблюдений отчётливо фиксируется снижение объёма половодья и его вклада в общегодовой сток. Несмотря на незначительное увеличение осадков в зимний период, при неизменном или слегка повышенном количестве осадков в межень, наблюдается рост расходов в меженный период. Это может быть связано с уменьшением глубины промерзания почвы в зимние месяцы, что, в свою очередь, способствует снижению поверхностного стока во время половодья. Вместо этого усиливается инфильтрация, что увеличивает долю подземного питания водотоков. Применение метода скользящей медианы позволяет более объективно отразить изменчивость водного режима и подтверждает наличие тенденций, связанных с глобальным потеплением климата.

Список литературы

1. Горшкова, А. Т. Моделирование и анализ преобразований поверхностного стока в условиях цифровизации мониторинга / А. Т. Горшкова, В. П. Горбунова, Д. А. Семанов, Н. В. Бортникова // Kazan digital week – 2025: Сборник материалов международного форума, Казань, 17–19 сентября 2025 года. Том 1. – Казань : Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2025. – С. 271-276.

2. Горшкова, А. Т. Принципы управления базами гидрологических данных / А. Т. Горшкова, В. П. Горбунова, Н. В. Бортникова, Д. А. Семанов, Д. С. Давыдов // Материалы II Международной научно-практической конференции (г. Астрахань, 10 декабря 2025 г.) История, современные проблемы и перспективы развития наук о Земле. – Астрахань: Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, 2026. – 237 с. – ISBN 978-5-9926-1595-1. – Текст: электронный.

3. Горшкова А. Т., Семанов Д. А., Валетдинов А. Р., Бортникова Н. В. Интерактивная база данных «Зоопланктон» (для экологической экспертизы) [БД «Zoo»]» // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620446. Правообладатель ГНБУ «АН РТ». Заявлено 24.12.2015, опубликовано 12.04.2016.

4. Горшкова А. Т., Семанов Д. А., Валетдинов А. Р., Бортникова Н. В. Программное обеспечение ПрЭВМ «Зоопланктон» (для экологической экспертизы) [для БД «Zoo»]» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614722. Правообладатель ГНБУ «АН РТ». Заявлено 24.12.2015, опубликовано 28.04.2016.

5. Горшкова А. Т., Семанов Д. А., Санников К. Е., Спиридонов В. А., Валетдинов А. Р., Бортникова Н.В. Интерактивная база данных «Диатомовые водоросли» (для целей судмедэкспертизы)» // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620463. Правообладатель ГНБУ «АН РТ». Заявлено 25.10.2010, опубликовано 24.08.2010.

6. Горшкова А. Т., Семанов Д. А., Санников К. Е., Спиридонов В. А., Валетдинов А. Р., Бортникова Н. В. Программное обеспечение «Интерактивной базы данных «Диатомовые водоросли» (для целей судмедэкспертизы)» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №_2010615455. Правообладатель ГНБУ «АН РТ». Заявлено 25.06.2010, опубликовано 25.08.2010.

7. Семанов Д. А., Горшкова А. Т., Урбанова О. Н., Рыков Р. А., Бортникова Н. В., Горбунова В. П. База данных «Морфометрические характеристики речной сети Республики Татарстан» // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621993. Правообладатель ГНБУ «АН РТ». Заявлено 27.06.2023, опубликовано 05.07.2023.

8. Семанов Д. А., Горшкова А. Т., Урбанова О. Н., Рыков Р. А., Бортникова Н. В., Горбунова В. П. Программа для работы с базой данных «Морфометрические характеристики речной сети Республики Татарстан» // Свидетельство о государственной регистрации базы данных №_2023663465. Правообладатель ГНБУ «АН РТ». Заявлено 27.06.2023, опубликовано 07.07.2023.

9. Рыков Р. А., Семанов Д. А., Горшкова А. Т., Урбанова О. Н., Бортникова Н. В., Горбунова В. П. База данных «Гидрологические характеристики малых водотоков территории Республики Татарстан для обеспечения количественного учёта водных ресурсов» // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623266 РФ. Правообладатель ГНБУ «АН РТ». Заявлено 23.11.2022, опубликовано 06.12.2022.

10. Рыков Р. А., Семанов Д. А., Горшкова А. Т., Урбанова О. Н., Бортникова Н. В., Горбунова В. П. Программа для работы с базой данных «Гидрологические характеристики малых водотоков территории Республики Татарстан для обеспечения количественного учёта водных ресурсов» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022684094 РФ. Правообладатель ГНБУ «АН РТ». Заявлено 23.11.2022, опубликовано 12.12.2022.

УДК 004.8

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Евграфов Д.А., магистрант кафедры систем информационной безопасности;
Катасёва Д.В., к.т.н., доцент кафедры СИБ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

NEURAL NETWORK MODEL FOR PREDICTING CROPS YIELD

Evgrafov D.A., Master student of Information Security Systems Department;
Kataseva D. V. PhD in Engineering, Associate Professor at Information Security Systems Department, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Аннотация

Решается задача разработки нейросетевой модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе открытого набора данных «Agriculture Crop Yield», опубликованного на платформе Kaggle. При подготовке набора данных к использованию выполнена предварительная обработка. Для отбора наиболее информативных признаков и приведения их в удобный для работы модели вид использованы аналитическая платформа Deductor Academic, язык программирования Python и библиотеки pandas, numpy, scikit-learn. В качестве обучающей выборки использовано 80% исходных данных, оставшиеся 20% составляют тестовую выборку. Нейросетевая модель прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур разработана с использованием языка программирования Python и библиотек tensorflow.keras, scikit-learn. Для оценки качества работы полученной модели используются следующие метрики: средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичная ошибка (MSE), коэффициент детерминации (R^2). Визуализация данных и результатов обучения осуществлялась с помощью matplotlib и seaborn. Анализ полученных метрик показал высокую точность предсказания модели на представленных данных.

Ключевые слова: нейросетевая модель, многослойный персептрон, прогнозирование, урожайность сельскохозяйственных культур

Abstract

The task is to develop a neural network model for predicting agricultural crop yields based on the open dataset «Agriculture Crop Yield» published on the Kaggle platform. During the dataset preparation stage, preliminary preprocessing was carried out. To select the most informative features and transform them into a format suitable for the model, the analytical platform Deductor Academic, the Python programming language, and the pandas, numpy, and scikit-learn libraries were used. 80% of the original data were used as the training set, while the remaining 20% constituted the test set. The neural network model for crop yield prediction was developed using the Python programming language and the tensorflow.keras and scikit-learn libraries. To assess the quality of the obtained model, the following metrics were used: Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), and the coefficient of determination (R^2). Data and training results were visualized using matplotlib and seaborn. Analysis of the obtained metrics demonstrated high prediction accuracy of the model on the given dataset.

Keywords: neural network model, multilayer perceptron, predicting, crop yield

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур является важной задачей аграрной аналитики. От точности прогнозирования зависит планирование объема посевных площадей, определение потребности в удобрениях и организация поставок продукции. Для решения задачи прогнозирования урожайности был выбран многослойный персептрон (далее – MLP), так как он эффективно работает с табличными данными, содержащими множество признаков [1]. В отличие от классических методов машинного обучения, MLP способен выявлять сложные нелинейные зависимости между входными параметрами и целевой переменной. В отличие от рекуррентных и сверточных нейросетей, MLP не требует специальной структуры данных (временной или пространственной), что делает его более универсальным для данной задачи [2].

В данном исследовании рассматривается решение задачи прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием нейросетевой модели, разработанной на языке программирования Python с применением библиотек tensorflow.keras и scikit-learn. Обучение модели осуществлялось на датасете «Agriculture Crop Yield», опубликованном на платформе Kaggle. Датасет содержит 1000000 записей и включает в себя следующие признаки:

1. Регион. Географический регион, в котором выращивается культура (категориальный признак).

2. Тип почвы. Тип почвы на участке (категориальный признак).

3. Сельскохозяйственная культура. Вид выращиваемой культуры (категориальный признак).

4. Количество осадков. Количество осадков, выпавших в период роста культуры, в миллиметрах (числовой, непрерывный признак).

5. Температура. Средняя температура в период роста культуры, в градусах Цельсия (числовой, непрерывный признак).

6. Использование удобрений. Показатель применения удобрений в процессе выращивания культуры (бинарный признак).

7. Использование орошения. Показатель применения орошения в процессе выращивания культуры (бинарный признак).

8. Погодные условия. Преобладающие погодные условия в период роста культуры (категориальный признак).

9. Количество дней до сбора урожая. Длительность в днях от посадки культуры до сбора урожая (числовой, целочисленный признак).

10. Урожайность. Целевая переменная в тоннах на гектар (числовой, непрерывный признак) [3].

На этапе предобработки данных выполняется преобразование категориальных и бинарных признаков в числовой формат для обеспечения их корректной обработки моделью. Далее осуществляется проверка и очистка данных от выбросов, проверка на дубликаты и противоречия. Для анализа взаимосвязи признаков с целевой переменной применяется корреляционный анализ с визуализацией на тепловой карте и построение матрицы диаграмм рассеяния. На рис. 1 представлена матрица корреляции Спирмена.

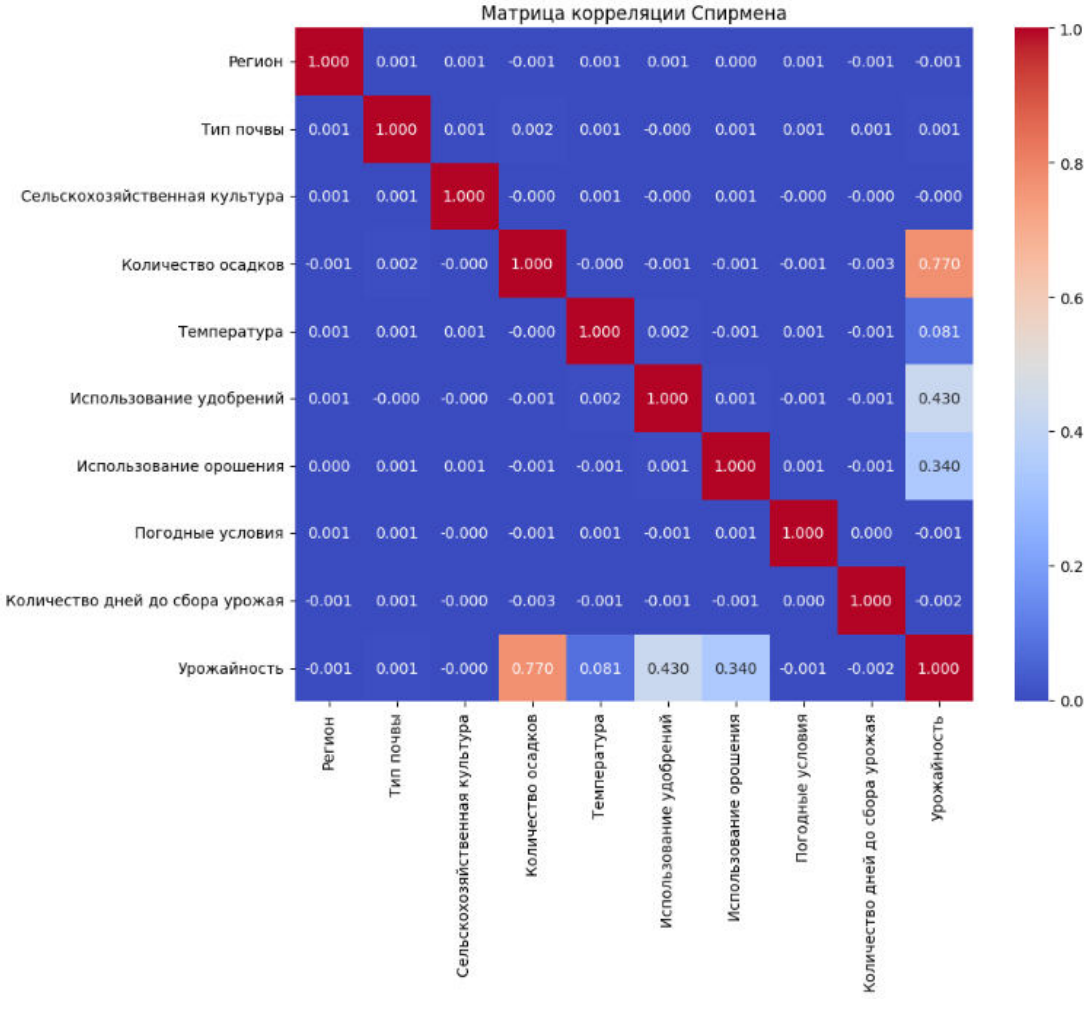


Рис 1. Матрица корреляции Спирмена

Анализ матрицы показывает, что признаки «Количество осадков», «Температура», «Использование удобрений», «Использование орошения» имеют наибольшую взаимосвязь с целевой переменной «Урожайность», так как их коэффициенты корреляции заметно отличаются от нуля относительно других признаков.

На рис. 2 приведена матрица диаграмм рассеяния.

По полученным диаграммам можно сделать аналогичный вывод: при-знаки «Количество осадков», «Температура», «Использование удобрений», «Использование орошения» имеют взаимосвязь с признаком «Урожайность». На графиках прослеживается линейный характер изменения урожайности при изменении значений данных признаков, в отличие от других, где зависимость не наблюдается.

Завершающим этапом является нормализация данных и разделение выборки на обучающую и тестовую в соотношении 80% и 20% соответственно.

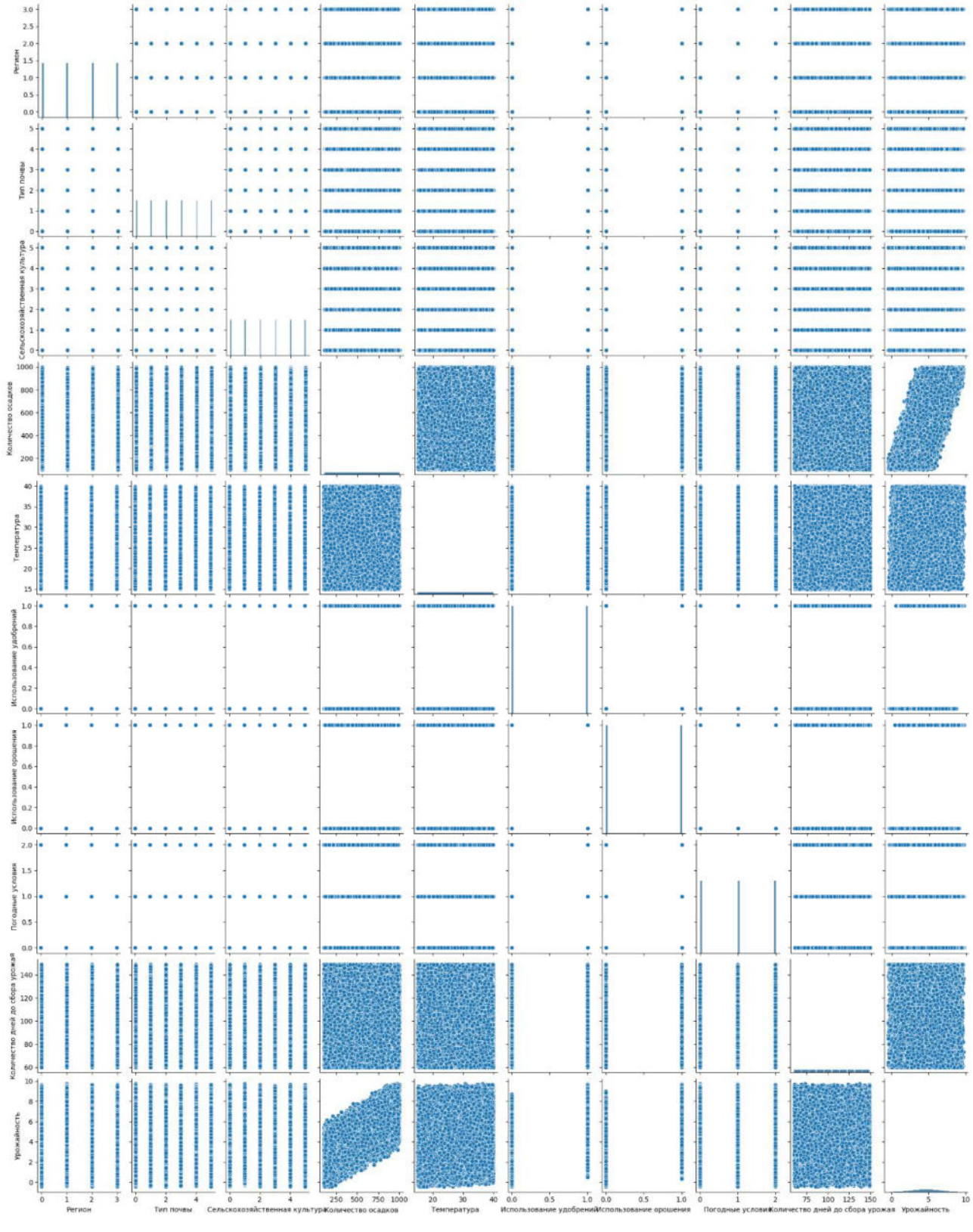


Рис 2. Матрица диаграмм рассеяния

Реализация MLP осуществляется с использованием объекта класса Sequential из библиотеки Keras. Этот объект позволяет создать последовательную модель нейронной сети, в которой каждый следующий слой принимает выходные данные предыдущего [4]. Модель включает в себя следующие слои:

1. Первый слой содержит 64 нейрона. Каждый нейрон данного слоя получает значения всех входных признаков и формирует взвешенную сумму. К выходному значению каждого из нейронов применяется функция активации rectified linear unit (далее – ReLU), что позволяет модели предсказывать сложные зависимости [5].

2. Второй слой содержит 32 нейрона. Он принимает на вход все выходные значения предыдущего слоя и выполняет дальнейшее преобразование в новое внутреннее представление признаков. К выходным значениям данного слоя также применяется функция активации ReLU [5].

3. Выходной слой представляет собой один нейрон с линейной функцией активации. Полученное на выходе значение представляет собой прогноз целевой переменной.

В качестве оптимизатора выбран алгоритм Adam (Adaptive Moment Estimation), который использует адаптивный подбор шага градиентного спуска для каждого параметра [6]. Скорость обучения задается значением 0.001, что обеспечивает стабильную сходимость модели. В качестве функции потерь используется mean squared error (далее – MSE). Для отслеживания точности предсказания в процессе обучения используется метрика коэффициент детерминации (далее – R^2).

При обучении данной модели были выбраны следующие гиперпараметры:

1. Размер батча устанавливается равным batch_size = 128. Такой размер батча считается крупным, но для большого объема данных (1 000 000 записей) является оптимальным решением, так как обеспечивает стабильное вычисление градиента и ускоряет процесс обучения.

2. Количество эпох задается равным 25. Данного количества достаточно для достижения необходимого уровня прогноза без риска переобучения.

3. В качестве валидационных данных используются ранее полученные выборки. Они составляют двадцать процентов исходного датасета.

Также в процессе обучения был применен механизм адаптивного изменения скорости обучения ReduceLROnPlateau. Эта функция автоматически уменьшает значение скорости обучения при отсутствии улучшения качества модели. Для определения качества обучения отслеживается значение функции потерь на валидационной выборке.

Для оценки качества работы полученной модели использовались метрики Mean Absolute Error (далее – MAE), MSE, R^2. MAE считается устойчивой к выбросам, так как использует абсолютную разность, из-за чего крупные отклонения не оказывают непропорционального влияния на значение метрики [7]. Таким образом, MAE позволяет получить представление о среднем значении ошибки в тех же единицах, что и прогнозируемая величина. В отличие от MAE, MSE чувствительна к выбросам из-за возведения разности в квадрат, что выделяет крупное отклонение значения от других [8]. R^2 оценивает долю дисперсии зависимой переменной, объясняемую моделью. Таким образом, данная метрика показывает, насколько хорошо модель выявляет закономерности в данных [9].

Значение MAE показывает, что среднее отклонение предсказанных значений относительно фактических составляет 0.398 тонн на гектар. Коэффициент детерминации равный 0.913 указывает на то, что модель объясняет около 91.3 процентов изменения целевой переменной.

На рис. 3 показан график поведения функции потерь на тренировочных и тестовых данных.

В начале обучения наблюдается резкое снижение значения функции потерь на тренировочных данных. По завершению первой эпохи значение функции потерь на тренировочных и тестовых данных практически совпадают. Это означает, что модель не переобучается и обеспечивает стабильное качество предсказаний по мере дальнейшего обучения.

На рис. 4 показан график изменения коэффициента детерминации на тренировочных и тестовых выборках.

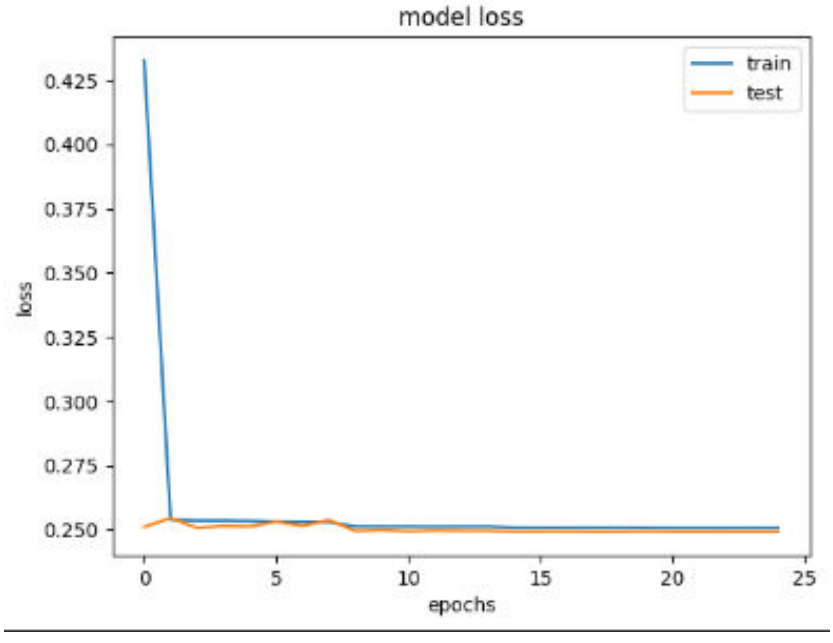


Рис 3. График изменения функции потерь

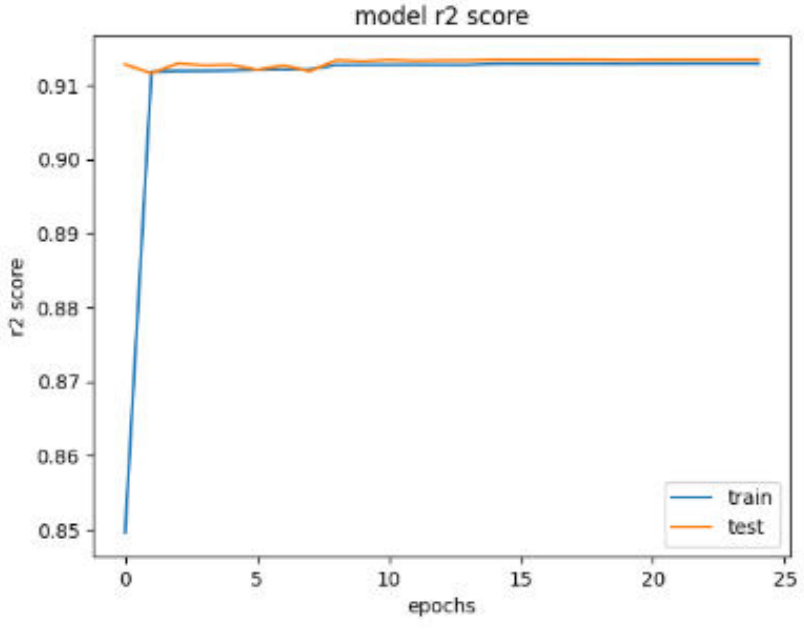


Рис 4. График изменения коэффициента детерминации

Данный график также указывает на то, что модель хорошо определяет зависимости в данных и демонстрирует высокое качество предсказаний как на тренировочном наборе данных, так и на тестовом.

Список литературы

1. Рогачев, А. Ф. Обоснование алгоритмов и инструментария для нейросетевого прогнозирования урожайности агрокультур с использованием ретроспективных данных / А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование : научный журнал. – 2020. – № 1 (57). – С. 290–302. – DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-29. – EDN FJOYIY.

2. Сравнительный анализ различных архитектур нейронных сетей для задач регрессии // CyberLeninka : электрон. науч. б-ка. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-razlichnyh-arhitektur-neyronnyh-setey-dlya-zadach-regressii/viewer (дата обращения: 11.03.2026).

3. Agriculture Crop Yield Dataset // Kaggle. – URL: https://www.kaggle.com/datasets/samuelotiattakorah/agriculture-crop-yield (дата обращения: 11.03.2026).

4. TensorFlow Keras Sequential Model // TensorFlow. – URL: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/Sequential (дата обращения: 19.03.2026).

5. Соснин, А. С. Функции активации нейросети: сигмоида, линейная, ступенчатая, ReLU, Tanh / А. С. Соснин, И. А. Суслова // Наука. Информатизация. Технологии. Образование : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 237–246.

6. Adam Optimizer // TensorFlow. – URL: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/optimizers/Adam (дата обращения: 23.03.2026).

7. Chicco D., Warrens M. J., Jurman G. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation // PeerJ. Computer Science : научный журнал. – 2021. – Vol. 7. – P. 1–24. – DOI: 10.7717/PEERJ-CS.623. – EDN VSUBGE.

8. Метрики регрессии // Habr. – URL: https://habr.com/ru/articles/821547/#regression_metrics (дата обращения: 24.03.2026).

9. Методы оценки моделей машинного обучения // Habr. – URL: https://habr.com/ru/companies/otus/articles/919258 (дата обращения: 24.03.2026).

УДК 619+636.2.034+681.17

ЦИФРОВОЕ ЖИВОТНОВОДСТВО: БОЛЮС ДЛЯ МОНИТОРИНГА КЛИНИКО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Елдашев А.О., генеральный директор ООО «АСТим АгроТех»;
Папаев Р.М., к.б.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-8489-6462;
Ежков В.О., д.в.н., профессор;
ORCID: 0000-0001-6476-6054;
Ежкова А.М., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой физиологии, фармакологии и токсикологии ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-5526-2214

DIGITAL LIVESTOCK FARMING: A BOLUS FOR MONITORING THE CLINICAL AND PHYSIOLOGICAL CONDITION AND PRODUCTIVITY OF CATTLE

Yeldashev A.O., Director General LLC «ASTim AgroTech»;
Papaev R.M., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-8489-6462;
Ezhkov V.O., Doctor of Veterinary Sciences, Professor;
ORCID: 0000-0001-6476-6054;
Ezhkova A.M., Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology, Pharmacology, and Toxicology, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-5526-2214

Аннотация

Контроль за клинико-физиологическими показателями и состоянием животных с применением цифровых технологий позволяет оперативно и с высокой точностью выявить отклонения в поведенческих актах и некоторых параметрах деятельности органов и систем. Введение неинвазивных датчиков в организм животных позволит получать, обрабатывать и анализировать текущие физиологические процессы в режиме реального времени. В статье представлен материал по разработке отечественного программно-аппаратного комплекса на основе нейросетевых технологий, состоящий из внутрирубцовых электронных болюсов, базовой станции и цифровой системы мониторинга. При разработке внутрирубцовых болюсов представлены составляющие его компоненты, даны размеры, масса, фотографии внешнего вида, схематически представлено их наполнение, показаны функциональные характеристики и свойства. Функционал внутрирубцовых болюсов направлен на сбор показателей физиологической активности, температуры тела, пространственной ориентации, кормовой и водной возбудимости. Разработана, изготовлена и апробирована в полевых условиях базовая станция, принимающая информацию от болюсов, находящихся в преджелудках крупного рогатого скота. Представлен материал по физиологическим и анатомическим особенностям введения болюсов в организм телок и лактирующих коров, обеспечивающий устойчивую передачу сигнала из преджелудков на станцию. Уникальность проекта заключается в разработке комплекса алгоритмов, связанных с выполнением животными поведенческих реакций, изменений параметров клинико-физиологического статуса, половой активности коров и фиксации их на основании математических моделей для предиктивного анализа данных с внутрирубцовых болюсов отечественного производства. На основании полученных алгоритмов выполняется сбор и накопление телеметрических данных в информационной системе, что обеспечивает формирование отчётов и уведомлений о физиологическом состоянии животных.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, внутрижелудочный болюс, базовая станция, цифровая система мониторинга, жвачные животные, рубец коров, физиологическая активность, температура, пространственная ориентация, половая охота

Abstract

Monitoring the clinical and physiological parameters and condition of animals using digital technologies allows for the rapid and highly accurate detection of deviations in behavioral patterns and certain parameters of organ and system function. The introduction of non-invasive sensors into animals will enable the acquisition, processing, and analysis of ongoing physiological processes in real time. This article presents the development of a domestic hardware and software system based on neural network technologies, consisting of intra-rumen electronic boluses, a base station, and a digital monitoring system. The intra-rumen bolus design includes a description of its components, dimensions, weight, and photographs of its appearance, a schematic representation of its contents, and a description of its functional characteristics and properties. The intra-rumen bolus functionality is aimed at collecting indicators of physiological activity, body temperature, spatial orientation, and feeding and water excitability. A base station, which receives data from boluses located in the forestomachs of cattle, was developed, manufactured, and field-tested. This paper presents data on the physiological and anatomical features of bolus administration in heifers and lactating cows, ensuring stable signal transmission from the forestomachs to the station. The project's uniqueness lies in the development of a set of algorithms related to animal behavioral responses, changes in clinical and physiological status parameters, and cows' sexual activity, and their recording using mathematical models for predictive analysis of data from domestically produced rumen boluses. The resulting algorithms are used to collect and accumulate telemetry data in an information system, enabling the generation of reports and notifications on the animals' physiological condition.

Keywords: hardware and software system, intragastric bolus, base station, digital monitoring system, ruminants, cow rumen, physiological activity, temperature, spatial orientation, estrus

Введение

На современном этапе развития животноводства, в разных ее отраслях все чаще находят применение цифровые технологии и системы машинного зрения, которые обеспечивают снижение трудоемкости и повышают рентабельность получаемой продукции [1]. Особое отношение складывается к скотоводству, которое позволяет обеспечить потребителя молочной и мясной продукцией высокого качества. Анализ литературных данных, позволяет сделать вывод о том, что в скотоводстве, особенно в молочном, большое место занимают системы, обеспечивающие контроль деятельности организма крупного рогатого скота, его функциональных систем и оценка поведенческой активности [2, 3, 4].

Значительное место занимают системы, обеспечивающие контроль за деятельностью органов пищеварения, что в свою очередь обусловлено тем, что для крупного рогатого скота сложный четырехкамерный желудок может обеспечить преобразование большого количества питательных веществ в продукцию [5, 6]. Чаще всего, в качестве систем контроля за деятельностью пищеварения находят применение системы, которые представлены в виде ошейников с транспондерами, болюсов, ушных бирок [7]. Другие авторы предлагают технологию 3D-визуализации, способную одновременно получать различные формы связанных данных о состоянии животных (состояние тела, хромота и вес) с помощью одного устройства. Показано, что результаты, полученные в условиях фермы при непрерывной работе, сопоставимы или превосходят результаты ручной оценки стада [8, 9, 10]. Все они имеют большой недостаток в том, что полностью изготовлены за рубежом. И в условиях санкционного давления Запада, разработка новых отечественных систем мониторинга обеспечило бы полное их импортозамещение.

В связи с уходом иностранных конкурентов с российского рынка сформировалась благоприятная ситуация для запуска отечественных продуктов. Несмотря на вероятность усиления конкуренции со стороны отечественных производителей, в настоящее время на рынке отсутствуют доступные решения, способные обеспечить аналогичный функционал при схожем уровне стоимости. Ведутся разработки отдельными игроками, однако готовых конкурентных решений пока нет.

В связи с чем целью работы стало: создание математической модели для обработки данных, получаемых с неинвазивных датчиков для автоматизированной детекции клинико-физиологического состояния крупного рогатого скота.

Основными задачами были определены:

1. Разработка математических моделей для детекции актов питья, эструса, стресса/болезни, двигательной активности и температуры тела.

2. Апробация алгоритмов, получаемых с собственных телеметрических болюсов.

3. Верификация пороговых значений для контроля за состоянием здоровья животных.

Материалы и методы

Материалом для исследований стали болюсы, введенные в преджелудки телок. Объектами исследований были яловые телки и лактирующие коровы голштинской породы, n=8. Предметом исследований стали клинико-физиологическое состояние крупного рогатого скота и их математическое отображение в цифровых характеристиках.

Полевые исследования прототипа программно-аппаратного комплекса (ПАК) проводили на базе животноводческого предприятия Акционерное общество «Алан» Тюлячинского района Республики Татарстан. Предприятие специализируется на молочном направлении животноводства. На предприятии используется система управления кормлением «Уникорм», система управления стадом и учета надев молока DataFlow II – Milkline (управление доением) и система контроля привесов с помощью электронных весов.

Алгоритм исследований был представлен следующими этапами:

1. Сборка болюсов и базовой станции: сборка прототипов и отладка встроенного программного обеспечения (прошивки).

2. Организация полигонных испытаний системы в условиях реальной молочной фермы, оборудованной необходимой инфраструктурой, на группе продуктивных животных (n=10).

3. Полевая установка оборудования и введение болюсов животным для обеспечения получения данных в систему в реальных условиях.

4. Сбор и накопление параметрических данных (активность, температура и др.) в производственной среде. В течение контрольного периода осуществляли непрерывный сбор и передачу телеметрических данных от болюсов к базовой станции, а затем на сервер аналитической системы.

5. Обработка и интерпретация данных и их трансляция в автоматически распознаваемые события, значимые с точки зрения физиологии и управления стадом.

6. Разработка аналитических алгоритмов и выявление пороговых значений. Определяли допустимые диапазоны и пороговые значения по ключевым параметрам:

– фазам репродуктивного цикла (эструс);
– признакам заболеваний и стрессовых состояний;
– актов питья;
– показателей активности;
– изменений температуры тела.

7. Разработка архитектуры цифровой системы мониторинга с созданием общей архитектуры аналитической платформы для визуализации, хранения и обработки данных.

В процессе реализации проекта использовали комплекс современных аппаратных и программных решений, обеспечивающих создание экспериментального образца ПАК для мониторинга состояния крупного рогатого скота.

Аппаратная часть представляла собой внутрирубцовый болюс, содержащий: датчик для измерения глубинной температуры тела; трехосевой акселерометр для оценки активности, в том числе двигательной; трехосевой магнитометр (компас) для анализа позы и пространственной ориентации животного; bluetooth-модуль для локальной отладки и возможности перепрошивки; Lora-модуль для передачи данных на базовую станцию; энергоисточник для автономного питания устройства; груз из латуни для обеспечения стабильного положения болюса в рубце. В качестве заливки использовали полиуретановый компаунд Wevopur 520, обеспечивающий дополнительную герметичность и прочность. Корпус изготавливали из пищевого полипропилена, безопасного и биосовместимого материала для длительного нахождения в пищеварительном тракте животного (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид прототипов внутрубцовых электронных болюсов с интегрированным температурным датчиком: CBL_123007; CBL_123008; CBL_123021; CBL_123022

Базовая станция для приёма и передачи данных состояла из: радиоприемника LoRa для связи с болюсами; 4D-модем с SIM-картой для отправки данных на облачный сервер; керамической антенны, имеющей круговую направленность; встроенного аккумулятора (АКБ) для обеспечения автономной работы до 24 часов при отсутствии внешнего питания; герметичного корпуса, устойчивого к условиям окружающей среды (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид базовой станции для приема и передачи данных

Серверная и аналитическая часть. Использовали облачный сервер для хранения, обработки и визуализации данных; базу данных с гибридной архитектурой и использованием хранилищ PostgreSQL и логики на Python для аналитической обработки данных. В дальнейшем по мере развития продукта планируется переход на ClickHouse для высокопроизводительной аналитики и обработки больших объёмов телеметрических данных в режиме реального времени. Сложные вычислительные модули и тяжёлые алгоритмы реализовывать с использованием Go (Golang) или Rust – современных системных языков, обеспечивающих высокую скорость, безопасность и эффективность при работе с большими объёмами потоковых данных.

Алгоритмы обработки данных содержали: обработку с датчиков на языке Python, с применением методов цифровой фильтрации, анализа временных рядов и машинного обучения (по мере накопления данных); определение автоматических событий (эструс, питьё, активность, стресс/болезнь, температура тела) по пороговым значениям и паттернам поведения.

Визуализацию и отчётность системы разделили на серверную часть и клиентский интерфейс. Последний полностью построен на технологиях Nuxt.js и Vue.js. Благодаря этому реализованы динамические панели визуализации (графики, диаграммы, дашборды) и гибкую систему формирования отчётов, доступную пользователям через веб-интерфейс.

Контейнеризацию проводили для ускорения разработки, развертывания и масштабирования системы с использованием технологии Docker и методов CI/CD (непрерывной интеграции и доставки). Использование гибкой методологии Agile позволило быстро адаптировать процесс разработки к получаемым данным и обратной связи с фермы.

Основная часть

Анализ источников литературы показал, что современные системы мониторинга клинического и физиологического состояния крупного рогатого скота дорогостоящие и часто используют ненадежные датчики (для внутрирубцовых устройств) или монофункциональные ошейники. В разработке представлен принципиально новый подход: комплексный анализ данных с бюджетных, но надежных сенсоров (температура, акселерометр, компас) внутри одного болюса, который помещается в преджелудок – рубец жвачных. Это позволяет за счет

продвинутых алгоритмов детектировать параметры состояния здоровья, стадии полового цикла (половая охота), температуру тела, акты питья и двигательную активность.

Внутрирубцовый болюс имеет форму цилиндра с гладкой поверхностью и закруглёнными торцами, что обеспечивает безопасное введение и минимальное травмирующее воздействие на слизистые оболочки. Габаритные параметры болюса: длина: от 100 до 110 мм, диаметр: 34 – 38 мм, масса: от 200 до 300 г (конкретные значения массы и размеров не подлежат разглашению).

На рис. 3 схематично показано расположение основных узлов: корпуса, утяжеляющего элемента, заливочного компаунда и электронной сборки (печатная плата с датчиками, радиомодулем и источником питания).

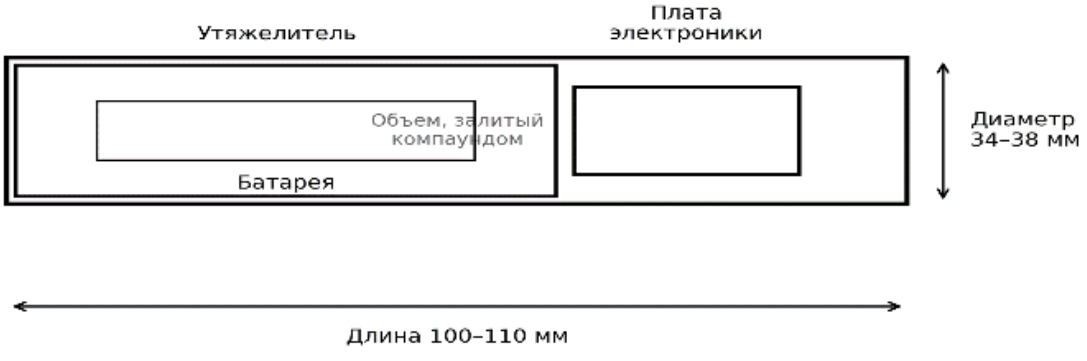


Рис. 3. Схема внутрирубцового электронного болюса

В условиях животноводческого предприятия вводили болюсы телкам и коровам с учетом физиологических и анатомических особенностей животных. Основным фактором риска стала постоянная функциональная деятельность пищеварительного тракта жвачных, периодическая отрыжка и пережевывание кормового кома, специфическая моторика четырехкамерного желудка с его содержимым. Немаловажным стали анатомическая особенность размеров глотки для прохождения болюса, его масса для погружения на дно рубца и противостояние при физиологическом перемешивании и перемещении кормовых масс.

Болюс вводили с использованием специализированного инструмента (болюсодавателя) соответствующего размера и эргономики. За несколько часов до введения болюса животных содержали без корма. Во избежание спазма глотки животных, болюсы вводили подогретые до температуры кормов. Перед введением болюса животное фиксировали и осматривали ротовую полость на целостность анатомических структур. Перед введением болюс и болюсодаватель обильно смазывали вазелином и вводили через ротовую полость с контролируемым направлением в пищевод. Наблюдение за животными вели в течение 2-3 суток после процедуры. Для получения, интерпретации телеметрических данных и разработки алгоритмов анализа учитывали положение болюса внутри рубца, заполняемость кормами преджелудков, физическую активность животного, качество радиосигнала (RSSI), условия передачи данных с болюса и стабильность работы базовой станции.

В ходе проведения полевых исследований программно-аппаратного комплекса осуществляли сбор телеметрических данных от внутрирубцовых электронных болюсов, установленных группе животных. Сбор данных осуществляли в автоматическом режиме с заданной периодичностью, соответствующей настройкам устройств. Интервал передачи данных составлял 10 минут, что обеспечивало формирование массива телеметрической информации в течение всего периода наблюдений.

В процессе эксплуатации системы в сборе данных участвовало 8 болюсов, закрепленных за животными. В течение испытуемого периода было зафиксировано общее количество принятых телеметрических пакетов – 23920, среднее количество пакетов от одного устройства в сутки – 115. Полученные данные включали следующие параметры: температуру, пока-

затели двигательной активности, показатели ориентации, уровень сигнала (RSSI), напряжение батареи.

Анализ первичных данных показал, что система обеспечивает регулярное поступление телеметрической информации в условиях реального животноводческого предприятия. Данные формируются с незначительными пропусками результатов и отражают динамику физиологических и поведенческих показателей животных. В ходе наблюдений зафиксированы изменения температурных значений, вариации активности животных, соответствующие их естественному поведению и режиму содержания. На рисунке 3 представлена диаграмма повышенной активности яловой первотелки 28 июня 2026 г., в сравнении с аналогами группы и стада, что демонстрирует, вероятно, физиологическое состояние охоты животного (рис. 4).

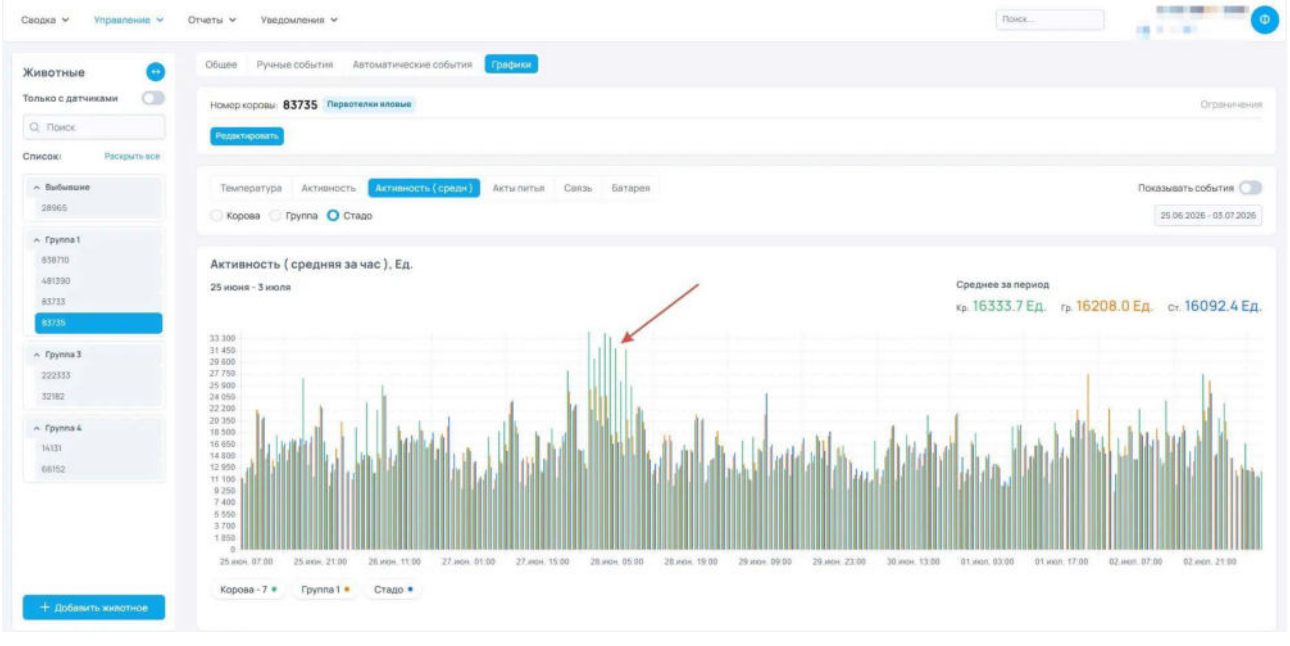


Рис. 4. Показатель повышенной активности яловой первотелки
в сравнении с аналогами группы и стада

Анализ за месяц показывает повышение активности телки на 0,7% в сравнении с группой аналогов и на 1,5% по стаду. Полученный массив телеметрических данных имеет необходимый характер и может быть использован в дальнейшем для разработки и тестирования алгоритмов анализа физиологических состояний животных.

Выводы

1. Разработан и апробирован базовый программно-аппаратный комплекс, включающий внутрирубцовые электронные болюсы, базовую станцию и цифровую систему мониторинга физиологического состояния крупного рогатого скота. Комплекс базируется на российской инфраструктуре с полной локализацией данных на территории Российской Федерации, включая серверную часть. Основной фокус направлен на внутренний рынок РФ.

2. Разработана функциональная структура болюса с основными блоками: датчиками температуры, активности, пространственной ориентации, микроконтроллером, радио-, Bluetooth-модулями, источником и системой контроля питания. Связи между блоками реализованы по цифровым интерфейсам (I^2C, SPI, UART) в соответствии с электрической принципиальной схемой.

3. Разработана базовая станция программно-аппаратного комплекса для приёма радиосигналов от внутрирубцовых электронных болюсов, первичной обработки и буферизации телеметрических данных, передачи агрегированных данных на сервер программно-аналитической системы и контроля своего технического состояния (питание, качество связи, статус приёма данных).

4. Разработана методика введения внутрирубцовых болюсов, которая обеспечивает безопасное размещение устройства в организме животного и создает условия для корректного сбора физиологических и поведенческих данных. Учет физиологических и анатомических особенностей крупного рогатого скота и факторов, влияющих на качество телеметрии, обеспечивает надежность работы программно-аппаратного комплекса в условиях эксплуатации.

5. Информационная система программно-аппаратного комплекса обеспечивает надежный сбор и накопление телеметрических данных от болюсов и базовой станции в условиях животноводческого предприятия.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по программе «Старт-1», НИОКТР рег. № 125122915221-7.

Список литературы

1. Гирфанов, А. И. Использование машинного обучения для исследования форм поведения животных / А. И. Гирфанов, Р. М. Папаев, Л. Р. Загидуллин, Л. А. Рахматов, Л. Р. Шагивалиев, А. М. Ежкова // Сборник материалов Международного форума Kazan Digital Week-2022. Под общей редакцией Р.Н. Миниханова. – Казань, 21-24 сентября 2022. – С. 751-755.

2. Осипов, В. Ю. Анализ динамики физиологического состояния продуктивных коров на основе видеомониторинга / В. Ю. Осипов, С. В. Кулешов, А. А. Зайцева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2024. – Т. 59, №6. – С. 1131-1144.

3. Сурвоцев, В. Н. Цифровые технологии мониторинга здоровья коров / В. Н. Суровцев, И. К. Шульгин, В. Д. Лужняк, О. В. Погодина // Молочное и мясное скотоводство. – 2021. – № 5. – С. 2-6.

4. Norouzian, Mohammad Ali // Comparison of artifi cial neural networks and multiple linear regression for prediction of dairy cow locomotion score / Mohammad Ali Norouzian, Hossein Bayatani, Mona Vakili Alavijeh // Veterinary Research Forum. – 2021. – Vol. 12, Is. 1. – P. 33-37. https://doi: 10.30466/vrf.2019.98275.2346.

5. Владимиров, Ф. Е. Разработка методов и средств зоотехнического контроля в скотоводстве для управления физиологическим состоянием стада / Ф. Е. Владимиров, С. О. Базаев, Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка // Главный зоотехник. – 2023. – № 1 (234). – С. 32-46.

6. Черкашин, Е. А. Повышение эффективности мониторинга здоровья и физиологического состояния молочных коров за счет построения интеллектуальной цифровой системы, использующей единое видео-пространство / Е. А. Черкашин, И. О. Шальнев, А. А. Зайцева // Экономика сельского хозяйства России. – 2024. – № 9. – С. 126-134.

7. Zhou, X. Prediction of health disorders in dairy cows monitored with collar based on Binary logistic analysis / X. Zhou, Ch. Xu, Z. Zhao, H. Wang, M. Chen, B. Jia // Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., 2023, 75 (3): 467-475 (doi: 10.1590/1678-4162-12880).

8. Nasirahmadia, A. Implementation of machine vision for detecting behaviur of cattle and pigs // A. Nasirahmadia, S. A. Edwardsa, B. Sturma // Livestock Science. – 2017. – V. 202. – P. 25-38. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141317301543?via%3Dihub (дата обращения 11.07.2026).

9. Guoming, Li Practices and Applications of Convolutional Neural Network-Based Computer Vision Systems in Animal Farming: A Review / Li Guoming, Huang Yanbo, Chen Zhiqian, Li Guoming, Huang Yanbo, Chen Zhiqian, D. Jr Chesser Gary, Joseph L Purswell, John Linhoss, Zhao Yang, Zhao Yang // Sensors 21. – 2021. – № 4. – P. 1492. – URL: doi.org/10.3390/s21041492.

10. Hansen, M. F. Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device. / M. F. Hansen, M. L. Smith, L. N. Smith, K. Abdul Jabbar, D. Forbes // Computers in Industry, 2018, 98: 14-22 (doi: 10.1016/j.compind.2018.02.011).

УДК 631.42

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД: КИНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Зайнулгабидинов Э.Р., к.б.н., заведующий лабораторией;
ORCID: 0000-0002-1807-5727;
Утомбаева А.А., научный сотрудник;
ORCID: 0000-0002-7407-9108;
Петров А.М., к.б.н., ведущий научный сотрудник Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-5117-2609

COMPARATIVE ASSESSMENT OF REMEDIATION EFFICIENCY OF PETROLEUM-CONTAMINATED SOIL USING THERMOMECHANICALLY MODIFIED SEWAGE SLUDGE: A KINETIC APPROACH

Zaynulgabidinov E.R., candidate of biological sciences, head of the laboratory;
ORCID: 0000-0002-1807-5727;
Utombaeva A.A., researcher;
ORCID: 0000-0002-7407-9108;
Petrov A.M., candidate of biological sciences, Leading Researcher Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-5117-2609

Аннотация

В работе представлена сравнительная оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненного выщелоченного чернозёма при внесении термомеханически модифицированного осадка сточных вод (ТОСВ) в дозах 2% и 4% от массы почвы. Эксперимент проводили в модельных условиях в течение 80 суток. Установлено, что внесение ТОСВ приводит к увеличению степени деградации нефтепродуктов (НП). Выявлен дозозависимый эффект: повышение дозы ТОСВ с 2% до 4% сопровождается ростом степени биодеградации.

С использованием кинетической модели первого порядка рассчитаны константы скорости деградации и периоды полураспада НП. Высокие значения коэффициентов детерминации (R^2 = 0,954–0,992) подтверждают адекватность модели. Эффективность метода внесения ТОСВ в дозе 4% подтверждается максимальным увеличением константы скорости деградации и снижением периода полураспада нефтепродуктов, что свидетельствует о существенном ускорении деструкции углеводородов. Период полураспада, не зависящий от начальной концентрации загрязнителя, может быть рекомендован в качестве интегрального критерия для сопоставления эффективности различных методов биорекультивации.

Ключевые слова: нефтезагрязненная почва, осадки сточных вод, кинетика первого порядка, константа скорости деградации, период полураспада

Abstract

This study presents a comparative assessment of the remediation efficiency of petroleum-contaminated leached chernozem following the application of thermomechanically modified sewage sludge (TMSS) at rates of 2% and 4% of soil weight. The experiment was conducted under model conditions over 80 days. It was found that the application of TMSS leads to an increase in the

degradation degree of petroleum products (PPs). A dose-dependent effect was observed: increasing the TMSS rate from 2% to 4% is accompanied by a higher degree of biodegradation.

Using a first-order kinetic model, the biodegradation rate constants and half-lives period of petroleum products were calculated. High coefficients of determination (R^2 = 0.954–0.992) confirm the adequacy of the model. The effectiveness of the TMSS application method at a rate of 4% is confirmed by the maximum increase in the degradation rate constant and the reduction in the half-life period of petroleum products, indicating a substantial acceleration of hydrocarbon degradation. The half-life period, being independent of the initial pollutant concentration, can be recommended as an integral criterion for comparing the efficiency of various bioremediation methods.

Keywords: Petroleum-contaminated soil, sewage sludge, first-order kinetics, degradation rate constant, half-life period

Введение

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами (НП) не является проблемой прошлого; будучи частью глобального кризиса углеводородного загрязнения, оно представляет собой устойчивый вызов, требующий новых подходов для решения восстановления нарушенных территорий [1]. Поступление нефти в окружающую среду в результате аварийных выбросов поддерживает постоянное техногенное давление на наземные экосистемы, приводя к ухудшению физико-химических свойств почв, угнетению микробиоты и снижению биопродуктивности агроценозов [2, 3].

В настоящее время всё более широкое внимание уделяется биологическим методам рекультивации как экологически безопасной и экономически целесообразной альтернативе физико-химическим технологиям очистки нефтезагрязненных почв [4]. Среди биологических подходов ключевое место занимает биостимуляция с применением органических добавок, в том числе осадков сточных вод (ОСВ). ОСВ рассматриваются как доступный источник органического вещества и элементов минерального питания, способный активировать аборигенную микрофлору, повышать биодоступность элементов питания и ускорять деградацию НП [5, 6]. Однако количественно сопоставимая оценка эффективности подобных технологий для разных типов почв, включая чернозёмы, остаётся недостаточно разработанной.

Для интегральной характеристики скорости биодеградации углеводородов нефти в почве наиболее широко используется модель кинетики первого порядка. В ряде исследований показано, что данные по деградации НП в присутствии ОСВ и других органических добавок хорошо описываются этой моделью [7, 8]. Ключевым расчётным параметром модели является период полураспада, который не зависит от начальной концентрации загрязнителя и удобен для сопоставления эффективности различных технологий рекультивации на объектах с разным уровнем и сроками загрязнения [8].

Цель настоящей работы – провести количественную оценку эффективности рекультивации нефтезагрязненного выщелоченного чернозёма с использованием органоминеральных смесей на основе ОСВ на основе кинетических параметров деградации нефтяных углеводородов (константа скорости, период полураспада).

Материалы и методы

В работе использовали чернозём выщелоченный. Содержание физической глины составляло 45,9% (тяжелосуглинистый). В качестве загрязнителя использовали нефть Ямашинского месторождения (Альметьевский район, Республика Татарстан).

Для стимуляции аборигенной углеводородокисляющей микрофлоры применяли органоминеральную смесь – термомеханически обработанный осадок сточных вод г. Казани (ТОСВ).

Загрязнение почвы осуществляли внесением нефти из расчёта 4% от массы почвы. Через 1 сутки после загрязнения влажность почвы доводили до 60% от полной влагоёмкости. Почву оставляли для выветривания в открытых ёмкостях на 30 суток при комнатной температуре. Перемешивание проводили 1 раз в неделю для обеспечения аэрации.

По истечении 30 суток подготовленный образец почвы разделяли на три части:
– контроль (естественное восстановление, Т);
– опытный вариант с внесением ТОСВ в дозе 2% от массы почвы (М2);
– опытный вариант с внесением ТОСВ в дозе 4% от массы почвы (М4).

Все варианты выполняли в трёх повторностях. Образцы инкубировали в пластиковых контейнерах при комнатной температуре в течение 80 суток.

Отбор проб для определения остаточного содержания нефтепродуктов проводили в начале эксперимента, на 15-е, 54-е и 80-е сутки после внесения органоминеральной смеси. Определение суммарного содержания нефтепродуктов (НП) в почве выполняли гравиметрическим методом после экстракции четыреххлористым углеродом.

Процент деградации (D, %) рассчитывали по формуле (1) согласно [9]:

$$D = \frac{TPH_i - TPH_r}{TPH_i} \times 100 \quad (1)$$

где TPH_i – начальное содержание НП, г/кг; TPH_r – конечное содержание НП, г/кг.

Для количественной оценки скорости деструкции нефтепродуктов в почве использовали кинетическую модель первого порядка (2). Выбор модели обоснован тем, что при биодеградации органических загрязнителей в почвенных условиях лимитирующим фактором часто является концентрация субстрата (углеводородов), а скорость процесса пропорциональна остаточному содержанию поллютанта [9].

Модель описывается уравнением:

$$C_t = C_0 \times e^{-kt} \quad (2)$$

где C_0 – начальная концентрация НП в почве, г/кг; C_t – концентрация в момент времени t, г/кг; k – константа скорости деградации, сут$^{-1}$; t – время, сут.

Для линеаризации зависимости уравнение (2) преобразовывали в логарифмическую форму (3):

$$ln\,(C_t) = ln(C_0) - kt \quad (3)$$

Построение зависимости $ln\,(C_t)$ от t выполняли для каждого варианта эксперимента (ЗК, М2 и М4) по средним значениям концентраций в трёх временных точках (15, 54 и 80 сутки). Константу скорости (k) определяли как абсолютное значение углового коэффициента линейной регрессии. Адекватность модели оценивали по коэффициенту детерминации R^2.

Период полураспада нефтепродуктов ($t_{1/2}$), то есть время, за которое начальная концентрация загрязнителя снижается вдвое, рассчитывали по уравнению (4):

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0.693}{k} \quad (4)$$

Время 90% деструкции (снижение концентрации на 90% от исходной) определяли по (5):

$$T_{90} = \frac{\ln 10}{k} = \frac{2{,}303}{k} \quad (5)$$

Значения $t_{1/2}$ и T_{90} использовали в качестве интегрального показателя для сравнения эффективности исследуемых методов рекультивации: чем меньше период полураспада, тем выше скорость деструкции и эффективность метода [8].

Ввиду малого объёма выборки анализ проводили с применением непараметрических критериев: тест Краскала–Уоллеса (сравнение трёх независимых групп) и попарный U-тест (тест Манна–Уитни). Различия считали статистически значимыми при $p < 0{,}05$.

Результаты и обсуждение

На момент начала эксперимента исходное содержание НП во всех вариантах загрязненного нефтью выщелоченного чернозема составило 20,33 ± 0,21 г/кг. В течение всего периода наблюдений (80 суток) во всех вариантах зафиксировано постепенное снижение остаточного содержания НП (таблица 1), что свидетельствует об активной деградации нефтяных углеводородов как в условиях естественного восстановления, так и при внесении ТОСВ.

К концу эксперимента выявлены статистически значимые различия между вариантами ($p = 0,027$). Попарные сравнения подтвердили значимость различий между Т и М4 ($p = 0,050$), а также между М2 и М4 ($p = 0,050$), тогда как различия между Т и М2 не достигли порогового значения ($p = 0,100$).

Таблица 1

Динамика содержания нефтепродуктов в выщелоченном чернозёме

Вариант	1 сут.	15 сут	54 сут	80 сут	Деградация, %
Т	20,33 ± 0,21	15,01 ± 0,16	12,47 ± 0,25	11,47 ± 0,28	43,6 ± 0,6
М2		16,47 ± 0,25	11,30 ± 0,40	10,50 ± 0,43	48,4 ± 1,3
М4		14,40 ± 0,20	11,17 ± 0,06	9,70 ± 0,20	52,3 ± 0,4

Примечание: Т – вариант естественного восстановления (загрязнённый контроль); М2, М4 – внесение термомеханически модифицированного ОСВ в дозах 2% и 4% от массы почвы соответственно.

За 80 суток максимальная деградация нефтепродуктов отмечена в варианте М4 – выше контроля (Т) на 8,7%. В целом, выявлен дозозависимый эффект: увеличение дозы ТОСВ с 2% до 4% повышает степень биодеградации. Различия между группами статистически значимы ($p = 0,027$).

Рассчитанные кинетические параметры приведены в табл. 2. Высокие значения коэффициентов детерминации ($R^2 = 0,954–0,992$) свидетельствуют об адекватности применённой модели для описания процесса деградации нефтяных углеводородов во всех изученных вариантах.

Таблица 2

Кинетические параметры деградации нефтепродуктов в выщелоченном чернозёме

Вариант	Уравнение регрессии	R^2	K, $сут^{-1}$	$t_{1/2}$, сут	T_{90}, сут
Т	y = 0,0042x + 0,2471	0,992	0,0042	165,0	548,2
М2	y = 0,0052x + 0,2065	0,982	0,0052	133,3	442,8
М4	y = 0,0062x + 0,1688	0,954	0,0062	111,8	372,4

Примечание: R^2 – коэффициент детерминации линейной регрессии, k – константа скорости деградации первого порядка; $t_1/_2$ – период полураспада НП; T_{90} – время снижения концентрации НП на 90% от исходного значения.

Константа скорости деградации (k) для варианта М4 составила 0,0062 $сут^{-1}$, что в 1,5 раза превысило значение для контроля Т (k = 0,0042 $сут^{-1}$). Соответственно, период полураспада НП в варианте М4 (111,8 сут) был на 32% меньше, чем в контроле Т (165,0 сут), что свидетельствует о существенном ускорении деструкции углеводородов при внесении ТОСВ в дозе 4%.

Выводы

1. Внесение ТОСВ в дозе 4% обеспечивает наибольшую скорость биодеградации нефтяных углеводородов в выщелоченном чернозёме. Константа скорости k возрастает с 0,0042 до 0,0062 сут$^{-1}$, а период полураспада сокращается с 165 до 112 суток.

2. Кинетическая модель первого порядка адекватно описывает процесс деградации НП во всех рассматриваемых случаях (R^2 = 0,954–0,992), что позволяет использовать её для прогнозирования динамики снижения концентрации загрязнителя.

3. Период полураспада, не зависящий от начальной концентрации загрязнителя, рекомендован в качестве интегрального критерия для сопоставления эффективности различных методов биорекультивации.

Список литературы

1. Duran R., Cravo-Laureau C. The hydrocarbon pollution crisis: harnessing the Earth hydrocarbon degrading microbiome // Microbial Biotechnology. – 2024. – Vol. 17. e14526. DOI: 10.1111/1751-7915.14526.

2. Nemati B., Baneshi M.M., Akbari H., Dehghani R., Mostafaii Gh. Phytoremediation of pollutants in oil-contaminated soils by Alhagi camelorum: evaluation and modeling // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 5502. DOI: 10.1038/s41598-024-56214-y.

3. Momoh O.L.Y., Okwonna O.O., Agarry S.E. [и др.] Modifying Baranyi–Roberts model for crude oil bioremediation kinetics // Discover Soil. – 2025. – Vol. 2. – P. 52. DOI: 10.1007/s44378-025-00071-2.

4. Mekonnen B.A., Aragaw T.A., Genet M.B. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: a review on principles, degradation mechanisms, and advancements // Frontiers in Environmental Science. – 2024. – Vol. 12. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1354422.

5. Петров А.М., Зайнулгабидинов Э.Р., Князев И.В. Токсикологические характеристики осадков сточных вод иловых карт г. Казани // Российский журнал прикладной экологии. – 2021. – № 1 (25). – С. 58–63. DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10042.

6. Утомбаева А.А., Вершинин А.А., Зайнулгабидинов Э.Р. [и др.] Изучение возможности применения осадков сточных вод для биологической рекультивации нефтезагрязнённых серых лесных почв // Российский журнал прикладной экологии. – 2023. – № 2 (34). – С. 63–69. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.2.63.69.

7. Yousefi K., Mohebbi A., Pichtel J. Biodegradation of weathered petroleum hydrocarbons using organic waste amendments // Applied and Environmental Soil Science. – 2021. – 12 p. DOI: 10.1155/2021/6620294.

8. Okwonna O.O., Otaraku I.J. Kinetic modelling of in situ treatment of petroleum hydrocarbon contaminated soil using bone char and NPK fertilizers // Bulletin of the National Research Centre. – 2022. – Vol. 46, № 32. – P. 1–13. DOI: 10.1186/s42269-022-00714-8.

9. Agarry S. E., Oghenejoboh K. M., Solomon B. O. Kinetic modelling and half-life study of adsorptive bioremediation of soil artificially contaminated with bonny light crude oil // Journal of Ecological Engineering. – 2015. – Vol. 16, № 3. – P. 1–13. DOI: 10.12911/22998993/2799.

УДК 636.2.034:004.94

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ФЕРМ КРС: ОТ 3D-МОДЕЛИ КОРОВНИКА ДО ПРОГНОЗА УДОЕВ

Захарова Д.А., магистрант;
Кузнецова Э.М., магистрант;
Ишмурадова И.И., к.э.н., доцент Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны;
ORCID: 0009-0006-1225-0316

DIGITAL TWINS OF CATTLE FARMS: FROM 3D BARN MODELS TO MILK YIELD FORECASTS

Zakharova D.A., Master's student;
Kuznetsova E.M., Master's student;
Ishmuradova I.I., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny;
ORCID: 0009-0006-1225-0316

Аннотация

Статья относится к оригинальному проектно-аналитическому исследованию и посвящена разработке архитектуры цифрового двойника молочной фермы крупного рогатого скота (КРС). В работе объединены результаты анализа отечественных и зарубежных публикаций 2014–2026 гг., действующих нормативных документов и опубликованных российских практических кейсов. В качестве практического объекта принят расчетный коровник беспривязного содержания на 200 голов; для него разработаны состав 3D-модели, набор сенсоров, схема информационных потоков и прототип аналитического модуля прогнозирования удоя. Определены входные признаки модели, частоты измерений, правила формирования тревог и показатели, по которым должна проводиться валидация цифрового двойника. Практическая часть дополнена сопоставлением архитектуры с опубликованным опытом цифровизации молочных хозяйств, включая проекты мониторинга КРС в России. Показано, что на данном этапе предложенная система является проектным прототипом и не подтверждает заявленный экономический или прогностический эффект натурным экспериментом. Ограничениями являются отсутствие доступа к производственной телеметрии конкретного хозяйства, отсутствие длительного ряда наблюдений и полевой валидации модели. Полученные результаты задают воспроизводимую основу для последующего пилотного внедрения и проверки точности прогнозирования на реальной ферме.

Ключевые слова: цифровой двойник, КРС, молочная ферма, 3D-моделирование, BIM, интернет вещей, IoT, искусственный интеллект, прогнозирование удоев, Big Data, предиктивная аналитика, точное животноводство

Abstract

The paper is an original design-and-analytical study focused on the architecture of a digital twin for a dairy cattle farm. It combines a review of Russian and international publications from 2014–2026, applicable standards, and published Russian implementation cases. A 200-head loose-housing cowshed is used as a design object. For this object, the paper specifies the 3D model, sensor set, data flows, alert rules, and a prototype analytics module for milk-yield forecasting. The study defines model inputs, sampling frequencies, and validation metrics required for subsequent field testing. The practical section is complemented by comparison with published Russian digitalization cases in dairy

farming. The proposed solution is explicitly treated as a project prototype: no field experiment was conducted and no measured economic or predictive effect is claimed. The main limitations are the absence of production telemetry from a specific commercial farm, a sufficiently long observation period, and field validation. The results provide a reproducible basis for a pilot implementation and subsequent assessment of forecasting accuracy on a real farm.

Keywords: digital twin, cattle farming, dairy farm, 3D modeling, BIM, Internet of Things, artificial intelligence, milk yield forecasting, Big Data, predictive analytics, precision livestock farming

Введение

Цифровая трансформация животноводства предполагает переход от разрозненного учета показателей к связанным информационным системам, в которых данные о животных, микроклимате, кормлении и оборудовании используются совместно. В отечественной литературе цифровые двойники сельскохозяйственных объектов рассматриваются как перспективный инструмент повышения эффективности управления, однако степень их практического внедрения в сельском хозяйстве России пока остается ограниченной [1–3].

Для молочной фермы задача особенно актуальна, поскольку производственный результат зависит одновременно от микроклимата, рациона, состояния животных, активности, организации доения и технического состояния оборудования. Современные электронные системы управления стадом позволяют собирать такие данные, а цифровой двойник связывает их с пространственной моделью объекта и аналитическими процедурами [5, 6].

Цель исследования – разработать и структурировать проект цифрового двойника молочной фермы КРС, включающий 3D-модель коровника, систему сенсорного мониторинга и прототип аналитического модуля прогнозирования удоя, а также определить ограничения, необходимые для перехода от проектного прототипа к натурному эксперименту.

Научная новизна работы состоит не в утверждении уже достигнутого экономического эффекта, а в формализации архитектуры проектного прототипа: определены состав физического объекта и его цифрового представления, минимальный набор измерительных каналов, структура данных и схема валидации прогнозной модели.

По типу работа является оригинальным проектно-аналитическим исследованием с обзорной частью. Объектом исследования является цифровой двойник молочной фермы КРС; предметом – архитектура его пространственного, сенсорного и аналитического компонентов.

Для проектирования использовались системный и структурно-функциональный методы. Компоненты цифрового двойника распределялись по четырем уровням: физический объект, сбор данных, цифровое представление и аналитика/поддержка решений. Для прогнозного модуля определены целевая переменная, признаки, частота агрегации и метрики валидации.

Важно разграничить литературные сведения и результаты настоящей работы. Все параметры расчетного коровника, набор сенсоров и структура прототипа ниже являются проектными решениями авторов, а не результатами эксплуатации действующей фермы. Реальные производственные данные в исследовании не использовались.

При определении понятия цифрового двойника использован ГОСТ Р 57700.37-2021, действующий с 1 января 2022 г. Стандарт определяет общие положения разработки и применения цифровых двойников и отдельно подчеркивает необходимость верификации и валидации моделей [8]. Для современной архитектуры дополнительно учтены ПНСТ 949-2024 и ПНСТ 951-2024, введенные в действие с 1 июля 2025 г. и описывающие общие принципы и цифровое представление элементов цифровых двойников производственной сферы [7, 8].

Отечественные исследования последних лет показывают рост интереса к цифровым двойникам и цифровизации молочного производства. В 2022 г. опубликована работа по оценке эффектов цифровых двойников в сельском хозяйстве; в 2023 г. – исследования технологии цифровых двойников и их применения в сельском хозяйстве; в 2024 г. – работы по цифровым технологиям в молочном и мясном агробизнесе и повышению эффективности молочно-

го производства; в 2025–2026 гг. появились публикации о цифровых двойниках в сельскохозяйственной технике, цифровизации молочного скотоводства и интеллектуальных системах управления стадом [1–7, 9–11].

Предлагаемая архитектура включает физический объект, цифровую 3D-модель, сенсорный контур, хранилище данных, аналитический модуль и интерфейс оператора. В отличие от исходной версии статьи, архитектура дополнена формальным контуром верификации: измеренные значения сопоставляются с модельными, а прогнозы оцениваются на отложенной выборке.

Основу цифрового представления составляет BIM/CAD-модель коровника. В ней должны быть представлены стойла, кормовые линии, зоны доения, вентиляционные установки, поилки, датчики и логические зоны перемещения животных. Для каждой сущности задаются идентификатор, координаты, тип, технические характеристики и связь с временным рядом данных [13].

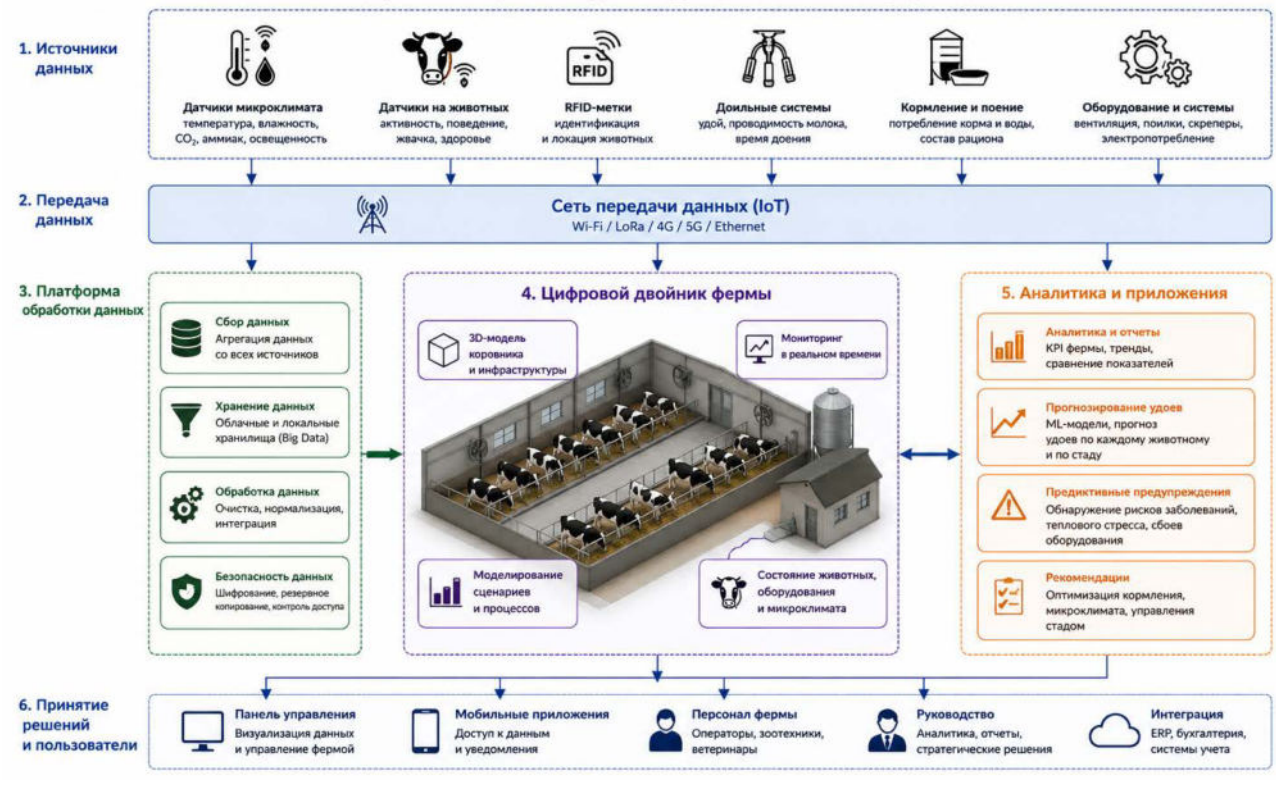


Рис. 1. Архитектура цифрового двойника фермы КРС

Для проверки полноты архитектуры сформирован расчетный объект – коровник молочной фермы беспривязного содержания на 200 дойных коров. Этот объект является проектным расчетным кейсом и не должен интерпретироваться как описание конкретного действующего хозяйства. Его назначение – сделать предлагаемую архитектуру проверяемой и воспроизводимой до получения реальной телеметрии.

Частота измерений выбирается исходя из динамики процесса. Для температуры и влажности целесообразна агрегация 1–5 мин, для аммиака – 5–15 мин, для активности животных – поток событий с последующей агрегацией в 15–60-минутные окна, для удоя – по каждому доению с суточной агрегацией. Все записи должны иметь единый идентификатор животного или технологического узла и временную метку.

Такое описание делает практическую часть воспроизводимой: исследователь может заменить расчетные параметры фактическими характеристиками конкретного коровника, не меняя структуру модели.

Таблица 1

Сформированный расчетный объект

Компонент	Проектное решение	Назначение
Поголовье	200 коров, индивидуальная RFID-идентификация	Связь событий с конкретным животным
3D/BIM	Коровник, стойла, кормовая и доильная зоны, вентиляция, датчики	Пространственное представление объекта
Микроклимат	8 узлов температуры/влажности, 4 точки NH_3, 2 точки освещенности	Контроль условий содержания
Активность	200 носимых идентификаторов/ акселерометров	Мониторинг активности и отклонений поведения
Кормление и вода	Счетчики/датчики на технологических линиях	Связь потребления с продуктивностью
Доение	Интеграция с автоматизированной системой доения	Удой, время доения, частота посещений
Видеоаналитика	4 камеры по ключевым технологическим зонам	Контроль перемещения и технологических операций
Аналитика	Python + SQL-хранилище + BI-панель	Обработка, прогнозирование и визуализация

В качестве целевой переменной предлагается использовать суточный удой коровы на горизонте 24 часа. Вектор признаков формируется из индивидуальных и средовых показателей:

– возраст и номер лактации;
– дни от отела;
– удой за предыдущие 1, 3 и 7 суток;
– частота и длительность посещений доильной установки;
– активность животного и ее отклонение от индивидуальной нормы;
– температура и относительная влажность в зоне содержания;
– показатели кормления и потребления воды;
– ветеринарные события и признаки изменения состояния животного.

На этапе прототипирования рекомендуется сравнить как минимум две модели: базовую регрессионную модель и модель градиентного бустинга/нейронную сеть. Разделение данных должно выполняться по времени, а не случайным перемешиванием, чтобы исключить утечку информации из будущего периода. Качество прогноза предлагается оценивать по MAE, RMSE и коэффициенту детерминации R^2 [12].

Для оператора результат должен представляться не только числовым прогнозом, но и объяснимым набором факторов: прогнозируемый удой, изменение относительно индивидуальной базовой линии, наиболее значимые признаки и предупреждение при выходе параметров микроклимата или активности за заданный диапазон.

Первый сценарий – контроль микроклимата. При повышении температуры и влажности цифровой двойник отображает проблемную зону коровника, связывает ее с показателями активности животных и формирует событие для оператора. Второй сценарий – контроль технологического оборудования: изменение состояния вентилятора или доильной установки фиксируется как событие, а его влияние на показатели животных может быть проанализировано retrospectively.

Таблица 2

Этапы разработки прогнозной системы и критерии их оценки

Этап	Входные данные	Результат	Критерий проверки
Сбор	Сенсоры, RFID, доение, видео	Синхронизированные временные ряды	Полнота и корректность временных меток
Очистка	Сырые телеметрические данные	Очищенный датасет	Доля пропусков, выбросов и дубликатов
Формирование признаков	История удоев + IoT	Матрица признаков	Отсутствие утечки будущих данных
Обучение	Обучающая выборка	Модель прогноза	MAE/RMSE/R^2 на валидации
Интеграция	Модель + 3D/BIM	Прогноз в цифровом двойнике	Корректность привязки к животному/зоне
Оповещение	Прогноз + правила	Тревога для персонала	Доля ложных и пропущенных тревог

Третий сценарий – прогноз удоя. Система использует историю конкретного животного и средовые факторы, после чего выводит прогноз на следующий период. Четвертый сценарий – «что будет, если»: в 3D-модели изменяются параметры вентиляции или температурный режим, после чего оценивается потенциальное изменение связанных показателей. Такой сценарий на стадии проектирования является модельным и требует последующей валидации по фактическим данным.

Практическая ценность цифрового двойника состоит в объединении пространственной и временной информации. Оператор видит не просто таблицу датчиков, а конкретную зону, оборудование или животное, к которым относится отклонение.

Для проверки реалистичности предложенной архитектуры рассмотрены опубликованные российские кейсы. В 2024 г. в Татарстане был описан проект «Цифровая ферма» с применением видеокамер и ИИ-видеоаналитики в семи фермерских хозяйствах; система использовалась для контроля процесса доения и действий операторов. В 2024 г. также опубликованы результаты исследований молочной продуктивности коров при использовании цифровых технологий. В 2024 г. в Московской области проводились натурные испытания системы цифрового мониторинга экстерьера молочных коров с проходным боксом и восемью блоками камер. В 2024–2025 гг. на ферме Кубанского государственного аграрного университета проводились исследования систем мониторинга состояния коров с использованием сенсорных устройств [14].

Эти кейсы подтверждают реализуемость отдельных элементов предлагаемой архитектуры – видеоаналитики, сенсорного мониторинга, идентификации и автоматизированного учета. Однако они не являются прямой валидацией разработанного в настоящей статье цифрового двойника, поскольку исходные наборы данных и программная реализация авторского прототипа не совпадают с опубликованными системами.

В результате проектирования сформирована целостная архитектура цифрового двойника, в которой 3D-модель выполняет роль пространственного представления, сенсорный контур – роль источника оперативных данных, а аналитический модуль – роль инструмента прогноза и поддержки решений. По сравнению с исходной постановкой задачи уточнено, какие данные необходимы для обучения модели, как они синхронизируются и по каким показателям должна проводиться валидация.

Существенным результатом является разделение трех уровней доказательности: литературно подтвержденные возможности технологий; проектные параметры расчетного объек-

та; фактические результаты натурного эксперимента. Это позволяет избежать переноса показателей из зарубежных или сторонних кейсов на предложенный прототип.

Экономическую эффективность в данной версии статьи следует рассматривать как направление последующей оценки, а не как установленный результат. Для расчета ROI потребуются фактические капитальные затраты, стоимость обслуживания, изменение удоя, снижение потерь и ветеринарных затрат, а также период эксплуатации. Аналогично, точность прогноза удоя может быть заявлена только после получения репрезентативной временной выборки и независимой тестовой выборки.

Заключение

Выполнено проектирование цифрового двойника молочной фермы КРС как системы, объединяющей 3D/BIM-модель коровника, сенсорный контур, идентификацию животных, данные автоматизированного доения и аналитический модуль. Для расчетного коровника на 200 голов определен состав основных каналов данных: микроклимат, активность животных, кормление, вода, доение и видеоаналитика.

Сформирована структура прототипа прогнозирования суточного удоя с временным разделением обучающей и тестовой выборок и набором метрик MAE, RMSE и R^2. Определены требования к синхронизации данных, формированию признаков и операторским оповещениям. В практической части показано, каким образом проектный прототип может быть связан с реальными российскими практиками цифровизации молочного животноводства.

Основным ограничением является отсутствие натурной эксплуатации разработанной системы. Поэтому в статье не утверждается достижение конкретного процента роста продуктивности или снижения затрат. Следующий этап исследования – подключение телеметрии конкретной фермы, формирование временного датасета не менее одного производственного цикла, обучение и независимая проверка прогнозной модели, а также расчет экономического эффекта. Только после выполнения этих процедур можно количественно оценивать точность прогнозирования и эффективность внедрения цифрового двойника.

Список литературы

1. Гец Г. А., Ефремов А. А. Эффективность цифровых двойников в сельском хозяйстве // Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2022): сборник научных статей XIX Международной научно-технической конференции. Пенза: Пензенский государственный университет, 2022. С. 317–320.

2. Дорохов А. С., Павкин Д. Ю., Юрочка С. С. Технология цифровых двойников в сельском хозяйстве: перспективы применения // Агроинженерия. – 2023.– Т. 25, № 4. С. 14–25. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-4-14-25.

3. Пилипук А. Концепция развития цифровых двойников в сельскохозяйственном производстве: аспекты теории и практики // Аграрная экономика. – 2023. – № 10 (341). С. 3–21.

4. Косенчук О. В. Цифровые технологии для эффективного ведения молочного и мясного агробизнеса // Продовольственная политика и безопасность. 2024. Т. 11, № 4.

5. Овсянко Л. А., Майер Р. В. Концепция повышения эффективности производства молока на основе цифровизации // Продовольственная политика и безопасность. – 2024. – № 4.

6. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Введен в действие 01.01.2022.

7. ПНСТ 949-2024. Цифровая промышленность. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Концептуальная модель цифровых двойников для производственной сферы. Часть 1. Общие положения и основные принципы. Введен в действие 01.07.2025.

8. ПНСТ 951-2024. Цифровая промышленность. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Концептуальная модель цифровых двойников для производственной сферы. Часть 3. Цифровое представление производственных элементов. Введен в действие 01.07.2025.

9. Абрамов В. И., Гордеев В. В. и др. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – № 3.

10. Лачуга Ю. Ф., Мударисов С. Г., Фархутдинов И. М. и др. Повышение эффективности проектирования сельскохозяйственной техники с помощью цифровых двойников // Вестник Российской академии наук. – 2025. – Т. 95, № 6. С. 50–58. DOI: 10.7868/S3034520025060068.

11. Перспективы использования интеллектуальных систем управления стадом в молочном скотоводстве (обзор) // Journal of Agriculture and Environment. 2026. № 69. DOI: 10.60797/JAE.2026.69.11.2.

12. МТС + АО «РИВЦ». «Цифровая ферма»: ИИ-видеоаналитика и мониторинг молочного животноводства Татарстана. Кейс внедрения. 2024.

13. Михайленко И. И., Мещеряков О. Д., Литвинов А. И., Бондаренко Л. С. Анализ функциональных состояний КРС для подготовки обучающего датасета // Аграрный научный журнал. – 2026. – № 6. С. 124–129. DOI: 10.28983/asj.y2026i6pp124-129.

14. Эффективность болюсов и ошейников с акселерометрами в мониторинге двигательной активности коров молочного стада // Аграрная наука. – 2026. – 03.06.2026.

УДК 658.8

СОЗДАНИЕ САЙТА ДЛЯ ПРОДАЖИ ФЕРМЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ: ЭТАПЫ И ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА

Клычова Г.С., д.э.н., профессор;
ORCID: 0000-0003-1524-0552;
Низамутдинов М.М., к.э.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-3060-5778;
Фахретдинова Э.Н., к.э.н., доцент;
ORCID: 0009-0001-4559-2631;
Поверенный Д.В., магистр ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

CREATING A WEBSITE FOR SELLING FARM PRODUCTS: STAGES AND ACCOUNTING FEATURES

Klychova G.S., Doctor of Economics, Professor;
ORCID: 0000-0003-1524-0552;
Nizamutdinov M.M., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-3060-5778;
Fakhretdinova E.N., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0009-0001-4559-2631;
Poverenniy D.V., master Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Аннотация

Цифровизация агропромышленного комплекса открывает новые возможности для сбыта продукции напрямую конечному потребителю. По данным исследований, доля онлайн-продаж продуктов питания ежегодно растёт, а электронная коммерция становится одним из ключевых факторов конкурентоспособности малых сельскохозяйственных предприятий [1-5]. Поэтому интернет-торговля через собственный сайт, позволяет сократить посреднические звенья, выйти на новые рынки и сформировать лояльную клиентскую базу. Вместе с тем запуск интернет-ресурса влечёт за собой дополнительные расходы по созданию сайта

и его контента, решение вопросов по его управлению, а также выбор методологии отражения данных операций в системе бухгалтерского учета. В условиях цифровизации экономики развивается и система электронного документооборота (ЭДО).

Ключевые слова: цифровизация, сайт для продажи, домен, хостинг, фермерская продукция, интернет-торговля, учет продажи, учет расходов, учет нематериальных активов

Abstract

The digitalization of the agro-industrial complex opens up new opportunities for direct sales to end consumers. According to research, the share of online food sales is growing every year, and e-commerce is becoming a key factor in the competitiveness of small agricultural enterprises [1-5]. Therefore, online sales through a company's own website can help reduce intermediaries, expand into new markets, and build a loyal customer base. At the same time, launching an online resource entails additional costs for creating the website and its content, managing the website, and selecting a methodology for reflecting these operations in the accounting system. As the economy becomes more digitalized, the electronic document management system (EDMS) is also developing

Keywords: Digitalization, website for sale, domain, hosting, farm products, online shopping, sales accounting, expense accounting, intangible asset accounting

Целью исследования является алгоритмизация процесса создания сайта и развитие методики бухгалтерского учета онлайн-продажи фермерской продукции.

Задачи исследования:

– обосновать преимущество создания собственного сайта, рассмотреть процесс его разработки: конструирование, порядок выбора CMS – системы управления контентом (хостинг, доменного имени и другие) с целью создания единого алгоритма действий организации онлайн-торговли фермером;

– рассмотреть особенности интеграции сайта с бухгалтерскими системами (складским учетом, онлайн-кассой и др.);

– изучить методику учета доходов и расходов онлайн-продаж и определить направления ее совершенствования.

Объектом исследования является совокупность теоретических, методических и практических аспектов создания сайта для продажи фермерской продукции и организации бухгалтерского учета доходов и расходов от онлайн-продаж.

Предметом исследования является: изучение этапов разработки сайта для продажи фермерской продукции и методики бухгалтерского учета доходов и расходов от продажи продукции через Интернет.

Процесс создания сайта для продажи сельскохозяйственной продукции включает несколько последовательных этапов [1, 6]. Схема создания сайта представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема создания сайта

На первом этапе определяются цели и формируется техническое задание: тип ресурса (каталог, интернет-магазин с онлайн-оплатой), набор функциональных модулей, способ разработки. Организация вправе привлечь специалистов для разработки проекта с нуля (на базе PHP, Vue, Laravel) либо воспользоваться конструктором сайтов самостоятельно (Wix, Tilda, WordPress).

Дизайн сайта играет ключевую роль в привлечении потенциальных покупателей. Организация может обратиться к профессионалам либо создать макет самостоятельно с помощью специализированных ресурсов: Figma или Framer. Конструктор Framer особенно удобен для неопытных пользователей: он оснащён встроенным искусственным интеллектом и имеет понятный интерфейс. Ниже представлена последовательность действий по работе с конструктором Framer (framer.com). На первом шаге необходимо зарегистрироваться на сайте и создать новый проект (рис. 2).

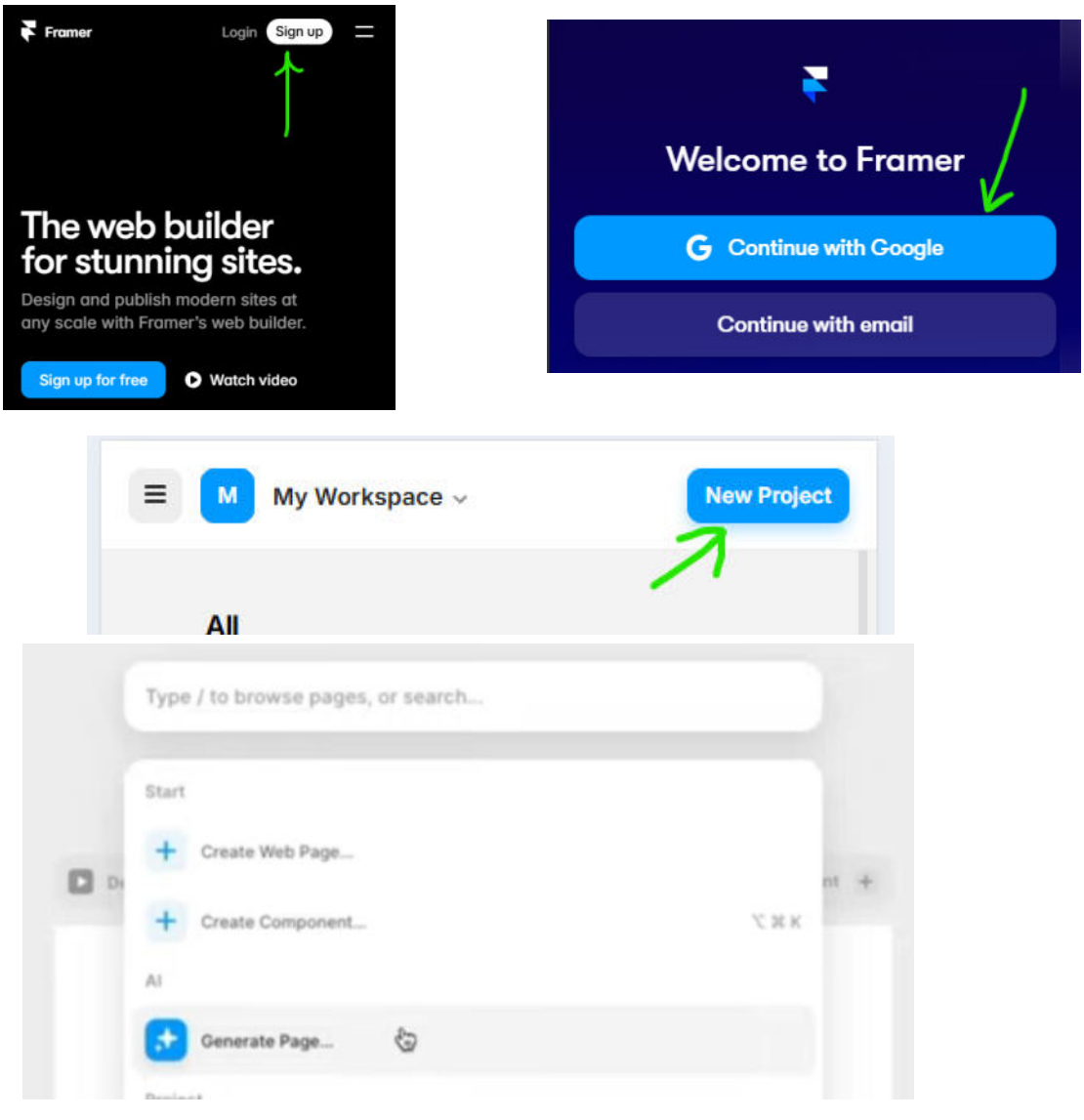


Рис. 2. Регистрация и создание нового проекта в Framer

После создания проекта можно воспользоваться встроенным ИИ-генератором страниц: достаточно ввести описание на русском языке – например, «Создай макет сайта для фермера, который собирается продавать клубнику» – и система сформирует первичный дизайн-макет (рис. 3).

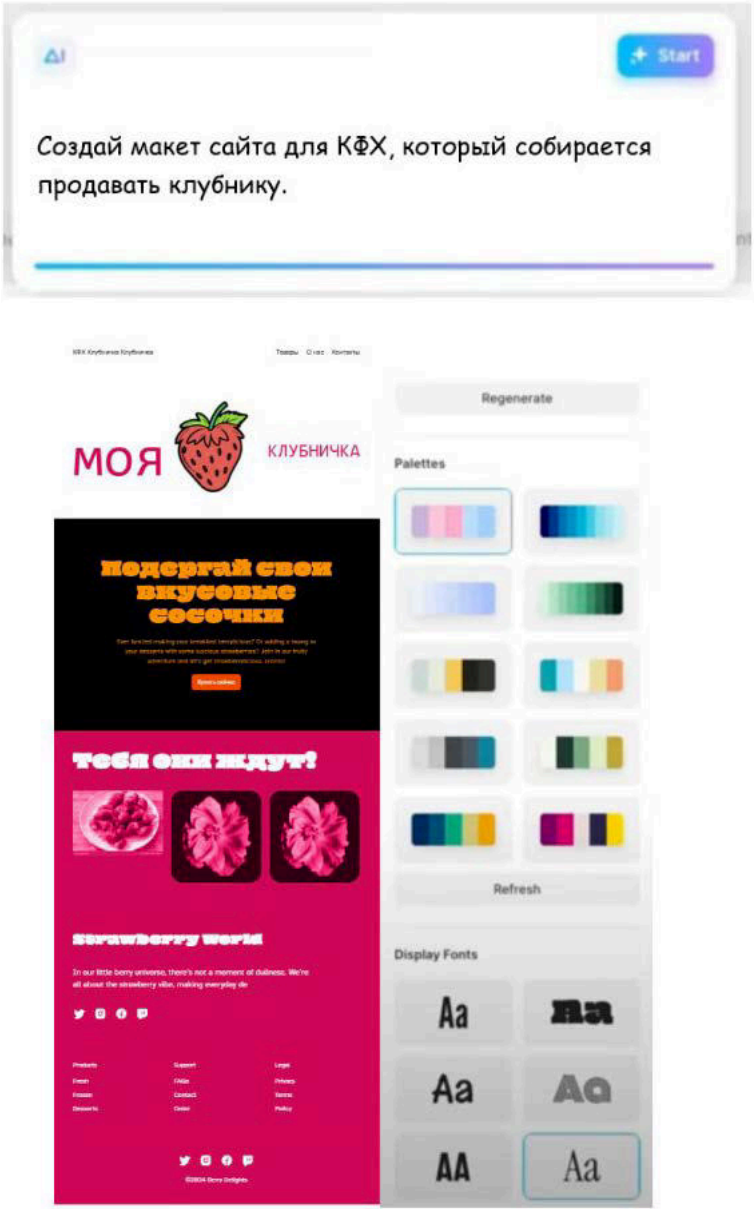


Рис. 3. Генерация макета сайта для продажи фермерской продукции с помощью ИИ в конструкторе Framer

Далее можно выбрать цветовую палитру, шрифты и скорректировать структуру страниц. Полученный нами результат – адаптивный макет, пригодный как для десктопной, так и для мобильной версии представлен на рис. 4.

Веб-сайт (созданные страницы) управляется программой, которая установлена на компьютер (веб-сервер) с доступом в интернет, имеющий уникальный адрес- ID и доменное имя. Поэтому следующим этапом является определение адреса сайта в сети Интернет. Регулирование деятельности компаний, которые могут регистрировать домены, осуществляет международная организация ICANN. В России регистраторов доменных имен верхнего уровня аккредитует АНО «Координационный центр национального домена сети интернет» (https://cctld.ru/contacts/). Список аккредитованных компаний официально публикуется на сайте. Таки образом, для приобретения доменного имени необходимо выбрать название для сайта и организацию – регистратора, например на сайте российской компании reg.ru (https://www.reg.ru/company). Для планирования расходов следует учесть, что доменное имя приобретается на определённый период, как правило год, с продлением в последующие годы.

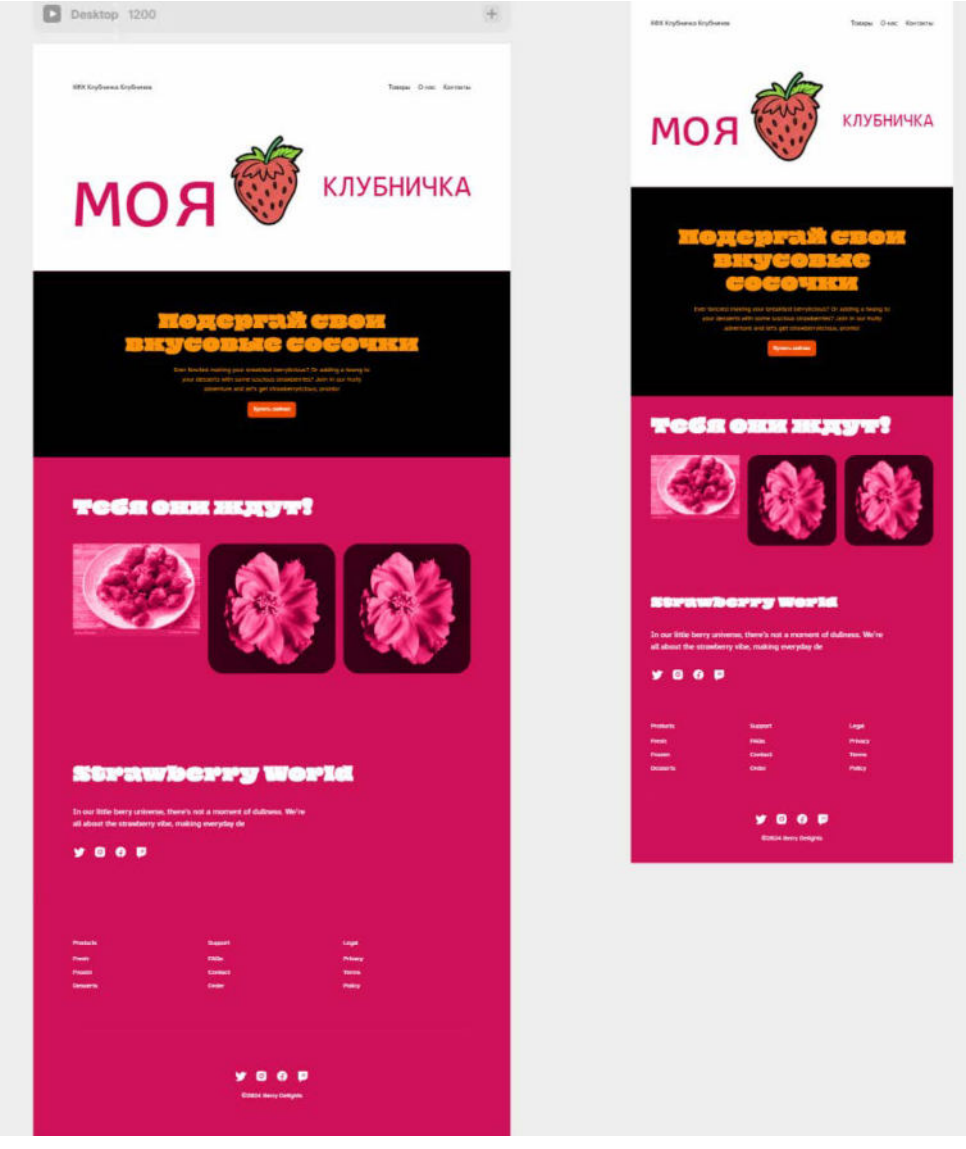


Рис. 4. Дизайн-шаблон сайта для продажи фермерской продукции (десктоп и мобильная версия)

Предоставление физического пространства для размещения (хранения) сайта (файлов, страниц, контента) на сервере осуществляется хостинговыми компаниями, например hostingrust.ru. Стоимость таких услуг зависит от многих факторов: размера дискового пространства, трафика, службы поддержки и др. Есть и второй способ размещения сайта: закупить собственное серверное оборудование. Для малых хозяйств предпочтителен первый вариант в виду меньших первоначальных затрат.

После создания сайта, необходимо организовать учет созданного актива, расходов по его дальнейшему обновлению, по обслуживанию компьютерных программ, учет продажи сельскохозяйственной продукции, взаимодействие с покупателями с использованием электронного документооборота, безналичных платежей [6, 7].

Расходы по созданию (приобретению) сайта, по его регистрации, на разработку индивидуального дизайна и наполнение контентом рассматриваются как вложения в долгосрочные активы по счету 08, где формируется первоначальная стоимость нематериальных активов. По этой стоимости данные активы ставят на учет по дебету счета 04. Требования к формированию информации по нематериальным активам и капитальным вложениям в такие активы в настоящее время содержатся в стандартах ФСБУ 14/2022 и ФСБУ 26/2020. Следует отме-

тить, что сайт может быть принят к учету как нематериальный актив, при наличии исключительного права и компания контролирует выгоды от его использования. Для компьютерных программ также необходимо иметь исключительное право со сроком более 12 месяцев. По новому стандарту теперь нельзя признать нематериальным активом товарные знаки (фирменное наименование), созданные организацией самостоятельно. Кроме того, сначала действия новых стандартов стоимостной критерий отнесения актива к нематериальному определяется организацией самостоятельно в целях бухгалтерского учета (в целях налогового учета лимит остался прежний – 100 тыс. руб.) [8-10]. Таким образом, если созданный сайт в бухгалтерском учете будет признан в качестве нематериального актива, то его стоимость будет включаться в расходы постепенно в виде амортизационных отчислений. При несоответствии установленным критериям принятия актива в качестве нематериального, затраты по созданию сайта будут включены в расходы единовременно путем отнесения на счета по учету затрат.

Созданный собственный сайт можно использовать в двух направлениях:

1) как площадку для рекламы продажи традиционным способом

В этом случае сайт и его дизайн позволяет рассказать о своем бизнесе или новом продукте большему количеству потенциальных клиентов, расширить рынок сбыта. Он помогает удобно взаимодействовать с уже существующими покупателями и партнерами. На сайте можно продемонстрировать технологии, локации, а также любой каталог предлагаемой продукции. Сайт можно рекламировать через контекстную рекламу, баннеры, продвижение в поисковиках. В данном случае, модель продажи продукции имеет вид «B2B», то есть это продажа государству, предприятиям, на рынке и др. (не конечному потребителю). При данной модели оформление документов на продажу осуществляется в основном в бухгалтерии путем выписки счетов, накладных и других необходимых документов;

2) как площадку для продажи продукции

В данном случае, модель продажи продукции может иметь вид «B2C» и «B2B», то есть это непосредственная продажа продукции с помощью сети интернет и созданного сайта. Для онлайн-продаж необходима касса, формирование чеков и соблюдение требований Федерального закона № 54-ФЗ «О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчётов в Российской Федерации». Существуют готовые комплексные решения: UnitPay, Ю-мани, Т-касса. На наш взгляд, более удобным является платёжный сервис приема безналичных онлайн-оплат с автоматическими чеками, передачей сведений в ФНС, интеграцией с сайтами, ботами и другими сервисами – «Робокасса» (https://robokassa.com). Тарифы в основном зависят от оборотов.

Исходя из вышеизложенного, считаем необходимым при организации учета процесса продажи продукции организовать раздельный учет по каналам реализации фермерской продукции, например отдельно выделить «офлайн- продажи» «онлайн-продажи» (через электронные площадки или собственный сайт).

Поэтому в методическом разделе учетной политики для раздельного учета доходов, расходов и финансовых результатов продажи сельскохозяйственной продукции по различным каналам сбыта считаем необходимым:

1) к счету 90 «Продажи» открыть следующие субсчета:
   90-1 «Офлайн- продажи»
   90-2 «Онлайн- продажи».
2) к счету 99 «Прибыль (убыток) от продаж» открыть следующие субсчета:
   99-1 «Прибыль (убыток) от офлайн -продаж»
   99-2 «Прибыль (убыток) от онлайн – продаж»

Исходя из вышеизложенного приведем основные направления по совершенствованию плана счетов (таблица 1). Для учета специфики сельскохозяйственного производства и учета доходов и расходов по отраслям к субсчетам первого порядка считаем целесообразным открывать субсчета второго порядка.

Таблица 1

Проект рабочего плана счетов – «счета для учета процесса продажи продукции и финансовых результатов от ее продажи»*

Синтетический счет	Предлагаемый вариант субсчетов первого и второго порядка
44 «Расходы на продажу»	44-1 «Расходы на офлайн-продажи» 44-1.1 «Расходы на продажу продукции растениеводства» 44-1.2 «Расходы на продажу продукции животноводства» 44-1.3 «Расходы на продажу продукции промышленных производств» 44-2 «Расходы на онлайн- продажи» 44-2.1 «Расходы на продажу продукции растениеводства» 44-2.2 «Расходы на продажу продукции животноводства» 44-2.3 «Расходы на продажу продукции промышленных производств»
90 «Продажи»	90-1 ««Офлайн-продажи» 90-1.1 «Продажаи продукции растениеводства» 90-1.2 «Продажи продукции животноводства» 90-1.3 «Продажи продукции промышленных производств» 90-2 «Онлайн-продажи» 90-2.1 «Продажи продукции растениеводства» 90-2.2 «Продажи продукции животноводства» 90-2.3 «Продажи продукции промышленных производств»
99 «Прибыль (убыток) от продаж»	99-1 «Прибыль (убыток) от офлайн -продаж» 99-1.1 «Прибыль (убыток) от продаж продукции растениеводства» 99-1.2 «Прибыль (убыток) от продаж продукции животноводства» 99-1.3 «Прибыль (убыток) от продаж продукции промышленных производств» 99-2 «Прибыль (убыток) от онлайн – продаж» 90-2.1 «Прибыль (убыток) от продаж продукции растениеводства» 90-2.2 «Прибыль (убыток) от продаж продукции животноводства»

* предложения авторов.

Подводя итоги, можно отметить, что в настоящее время для создания сайта и освоения рынка интернет-торговли фермерам не обязательно обладать знаниями технологии и языка программирования, навыками дизайна. С появлением специальных программ с удобным и простым использованием (CMS) для интернет-пользователей, процесс создания сайта и управление его контентом стало более простым. В ходе исследования был предложен алгоритм процесса создания сайта и основные направления развития методики бухгалтерского учета онлайн-продажи фермерской продукции. Авторами предложен вариант детализации счетов по учету финансовых результатов от продажи продукции, который позволит фермеру формировать информацию для последующего анализа наиболее эффективных направлений каналов реализации.

Список литературы

1. Ефимова, А. С. Электронная коммерция как форма ведения бизнеса / А. С. Ефимова, Г. Ж. Бальтанова // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2018. – № 3(14). – С. 8. – EDN YLHBVJ.

2. Петрушина, Д. П. Статистическое исследование развития рынка электронной коммерции в России / Д. П. Петрушина, С. С. Грачева // Инновационные механизмы управления цифровой и региональной экономикой : Материалы V Международной студенческой научной конференции, Москва, 15–16 июня 2023 года. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2023. – С. 578-594. – EDN BEKYKE.

3. Analysis and Trends of Agricultural Development Under the Conditions of Digitalization / M. Nizamutdinov, K. Parfenova, A. Khaliullin [et al.] // Innovations in Sustainable Agricultural Systems, Agriculture 4.0 and Precision Agriculture. Volume 2, Stavropol, 10–11 апреля 2025 года. Volume 1534. – Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2025. – P. 244-250. – DOI 10.1007/978-3-031-98127-2_25. – EDN BRBZLG.

4. Safiullin NA, Valiev AR (2025) The main directions of increasing the level of digital maturity of agro-industrial enterprises. Vestnik of the Kazan State Agrarian University 1(77): 134-142

5. Амирова, Э. Ф. Информационно-аналитические платформы и цифровая трансформация управления в АПК: от концепции к практике / Э. Ф. Амирова, М. М. Низамутдинов // Международный форум Kazan Digital Week – 2025 : Сборник материалов, Казань, 17–19 сентября 2025 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2025. – С. 1931-1938. – EDN JIVWJE.

6. Совершенствование документального оформления фактов хозяйственной жизни и документооборота в сельскохозяйственных организациях / Г. С. Клычова, А. Р. Закирова, Л. М. Мавлиева [и др.] // Международный бухгалтерский учет. – 2025. – Т. 28, № 11. – С. 55-70. – DOI 10.24891/hlsnoe. – EDN HLSNOE.

7. Фахретдинова, Э. Н. Анализ построения учетного процесса в крестьянских фермерских хозяйствах Республики Татарстан и основные направления его совершенствования / Э. Н. Фахретдинова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 5, № 4(18). – С. 81-83. – EDN LTLFJG.

8. Клычова, Г. С. Методологические проблемы учета нематериальных активов в предпринимательской деятельности / Г. С. Клычова, Э. Н. Фахретдинова, З. Р. Закиров // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 9, № 4(34). – С. 65-68. – DOI 10.12737/7757. – EDN TLTYBP.

9. Клычова, Г. С. Патент – понятие, классификация, критерии и роль в защите прав интеллектуальной собственности / Г. С. Клычова, Э. Н. Фахретдинова, Д. Д. Габитов // Архитектура финансов: поиск баланса стабильности и роста : Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 19–21 марта 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2025. – С. 298-304. – EDN NIYLUQ.

10. Development of the methodology of taxation of agricultural enterprises in the context of digitalization / G. Klychova, E. Fakhretdinova, A. Zakirova [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 113. – P. 05008. – DOI 10.1051/bioconf/202411305008. – EDN RAXXKO.

УДК 528.8

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОСЕВОВ В МУЛЬТИСЕНСОРНОМ КОНТУРЕ: МЕТОДЫ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ НА РОССИЙСКИХ ПОЛЯХ

Корнюхов Д.С., магистр, генеральный директор ООО «АСТРАФИЛД», г. Москва, Россия;
ORCID: 0009-0000-2350-0815

HYPERSPECTRAL CROP DIAGNOSTICS IN A MULTISENSOR WORKFLOW: METHODS, LIMITATIONS, AND APPLICATION TO RUSSIAN FIELDS

Kornyukhov D.S., M.Sc., Chief Executive Officer, ASTRAFIELD LLC, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0000-2350-0815

Аннотация

Рассматривается надёжность диагностики посевов по спутниковым данным. Цель работы – оценить потерю диагностической информации при спектральном усреднении и апробировать последовательность проверки аномалий несколькими сенсорами. Использованы контролируемый эксперимент с 1800 спектрами и 50 виртуальными полями, опубликованные исследования и пилот AstraField на пяти полях площадью около 400 га. В модельном опыте коэффициент детерминации вырос с 0,43 для девяти широких каналов до 0,84 для гиперспектра. В пилоте совпадения по культуре составили 4/5, по фазе – 5/5. Предложено разделять обнаружение аномалии, уточнение причины и наземное подтверждение перед агротехническим вмешательством.

Ключевые слова: гиперспектральная съемка, дистанционное зондирование Земли, точное земледелие, красный край, азотное питание, болезни растений, надёжность диагностики, «Ресурс-П», Sentinel-2, мультисенсорный анализ

Abstract

This study examines the reliability of crop diagnosis from satellite data. It evaluates information loss through spectral averaging and tests a multisensor sequence for checking anomalies. Evidence comprises a controlled experiment with 1,800 spectra grouped into 50 virtual fields, published studies, and an AstraField pilot on five fields covering approximately 400 ha. In the simulation, the coefficient of determination increased from 0.43 for nine broad bands to 0.84 for hyperspectral data. Pilot agreement was 4/5 for crop identification and 5/5 for phenological stage. The proposed sequence separates anomaly detection, causal interpretation, and ground confirmation before agricultural intervention.

Keywords: hyperspectral imaging, Earth observation, precision agriculture, red edge, nitrogen status, plant disease, diagnostic reliability, Resurs-P, Sentinel-2, multisensor analysis

Введение

Спутниковый мониторинг обычно начинается с нормализованного разностного вегетационного индекса (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). Он устойчив и хорошо отвечает на вопросы «где растительность слабее?» и «когда изменился полог?», но одинаковый NDVI может возникнуть при разных сочетаниях листовой поверхности, хлорофилла, открытой почвы, геометрии наблюдения и старения ткани. Карта показывает отклонение, но не доказывает его механизм.

Для болезней неоднозначность еще выше: спектральный ответ зависит от фазы развития, строения полога и доли пораженной ткани [10]. Математически это плохо обусловленная

обратная задача, в которой нескольким биофизическим состояниям соответствует близкий вектор широкополосных измерений. Гиперспектр увеличивает число наблюдений вдоль кривой отражения, но не отменяет смешанные пиксели, временную изменчивость и необходимость наземной разметки.

На рис. 1 один агроландшафт представлен в естественных и ложных цветах. Второе изображение сильнее разделяет покровы, однако контраст остается признаком различия, а не диагнозом. Цель работы – оценить потерю информации при переходе к широким каналам и апробировать последовательность проверки аномалий на материалах AstraField. Авторские результаты включают сравнение трёх спектральных представлений в едином модельном опыте и проверку этапов обработки на пяти производственных полях.



Рис. 1. Агроландшафт в естественных и ложных цветах: контраст покровов не определяет причину отклонения (иллюстрация AstraField)

Методический вклад – последовательность независимых проверок между обнаружением аномалии и агротехническим решением. Для технических систем мониторинга это задача диагностической надёжности: не спутать поздние всходы или смену фазы с поражением и не назначить обработку только по цвету карты. Снижение расхода препаратов или экологического ущерба в пилоте не измерялось.

Материалы и методы

Исходные данные и единица анализа

Использованы официальные характеристики Sentinel-2, гиперспектральной аппаратуры «Ресурс-П» и спектрометра Earth Surface Mineral Dust Source Investigation (EMIT), рецензируемые работы с независимой валидацией и материалы пилота AstraField. Sentinel-2 регистрирует 13 каналов 443-2190 нм с разрешением 10, 20 и 60 м и повторяемостью около пяти суток [3]. Гиперспектральная аппаратура «Ресурс-П» № 4 и № 5 имеет полосу 30 км, пиксель не хуже 30 м, диапазон 0,4-1,0 мкм, не менее 96 каналов и разрешение 5-10 нм [2]. EMIT содержит 285 каналов 381-2493 нм с шагом около 7,5 нм и пикселем порядка 60 м [4].

Полевой материал охватывал пять производственных полей в районе станицы Гостагаевской общей площадью около 400 га. Оптический ряд Sentinel-2 очищался от облаков и теней по слою классификации сцены (Scene Classification Layer); гиперспектральные признаки извлекались из доступного покрытия EMIT; радиолокационная динамика – из Sentinel-1. Единицей анализа служила фактическая граница поля с внутренней маской чистого посева, а не центроид или квадрат вокруг него. Пилот предназначен для проверки этапов обработки и не является репрезентативной выборкой российских агроландшафтов.

Предобработка, признаки и валидация

Наблюдаемая отражательная способность пикселя рассматривалась как смесь растительного и почвенного компонентов. В формуле (1) α обозначает долю полога, а ε – атмосферную, геометрическую и инструментальную неопределенность.

$$\rho(\lambda) = \alpha \cdot \rho_{veg}(\lambda) + (1 - \alpha) \cdot \rho_{soil}(\lambda) + \varepsilon(\lambda) \quad (1)$$

Внутренняя маска чистого посева (crop-core) строилась по временному медианному NDVI методом Оцу, согласованной связной компоненте и эрозии краев. Это снижает загрязнение дорогами, лесополосами и соседней культурой. Широкополосное измерение является сверткой спектра с функцией отклика прибора; формула (2) объясняет, почему разные локальные формы дают близкое значение ρ_b.

$$\rho_b = \int \rho(\lambda) \cdot S_b(\lambda) d\lambda \,/\, \int S_b(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

Для регулярного мониторинга рассчитывались NDVI и краснокраевой индекс (Normalized Difference Red Edge, NDRE), приведенные в формуле (3). NDVI насыщается в плотном пологе; NDRE дольше чувствителен к хлорофиллу, но также использует только два широких окна.

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R)/(\rho_{NIR} + \rho_R)$$
$$NDRE = (\rho_{NIR} - \rho_{RE})/(\rho_{NIR} + \rho_{RE}) \quad (3)$$

Положение красного края (red-edge position, REP) оценивалось четырехточечным методом по формуле (4), интерполирующей длину волны между 700 и 740 нм.

$$\rho_{RE} = (\rho_{670} + \rho_{780})/2$$
$$\lambda_{REP} = 700 + 40 \cdot (\rho_{RE} - \rho_{700})/(\rho_{740} - \rho_{700}) \quad (4)$$

Вместо одного индекса для пикселя p и даты t формировался вектор признаков формулы (5): вегетационные индексы (VI), REP, глубина полосы поглощения (BD), фотохимический индекс отражения (PRI), индекс старения растений (PSRI), радиолокационные признаки (SAR), погода (W) и фаза (φ). Физические и фенологические ограничения ранее показали способность повышать переносимость инверсии параметров посева [5].

$$z_{p,t} = [VI, REP, BD, PRI, PSRI, SAR, W, \varphi] \quad (5)$$

В вычислительном эксперименте качество оценивалось по группам: все наблюдения одного виртуального поля находились либо в обучении, либо в тесте. Такое разделение, а не выбор метрики сам по себе, снижает риск завышения качества из-за сходства соседних наблюдений. Для регрессии использовались коэффициент детерминации R^2 и среднеквадратическая ошибка RMSE по формуле (6). Для долей совпадений в пилоте дополнительно рассчитаны точные 95 %-ные биномиальные интервалы Клоппера – Пирсона; их интерпретация условна и предполагает независимость испытаний.

$$R^2 = 1 - \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2 \,/\, \Sigma(y_i - \bar{y})^2$$
$$RMSE = \sqrt{[(1/n) \cdot \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2]} \quad (6)$$

Контролируемый вычислительный эксперимент

Контролируемый вычислительный эксперимент измерял потерю идентифицируемости после спектрального усреднения, а не имитировал конкретную болезнь. Полуэмпирическая модель создала 1800 спектров с шагом 5 нм в диапазоне 400-1000 нм и распределила их по

50 виртуальным полям. Независимо менялись хлорофилл-подобный параметр, листовая поверхность, доля почвы, пигментный и водный фон, освещение и полевые сдвиги калибровки. Скрытый фактор S влиял на узкие особенности около 531, 570, 681, 714 и 970 нм и положение красного края при близком общем NDVI.

Спектры сворачивались с девятью функциями отклика типа Sentinel-2. Сравнивались гребневая регрессия Ridge по NDRE, регрессия частичных наименьших квадратов (Partial Least Squares Regression, PLSR) по девяти каналам и PLSR по сглаженному спектру с первой производной. Прогнозы получены пятикратной GroupKFold-валидацией по 50 виртуальным полям; 1800 спектров не трактуются как 1800 независимых полевых испытаний. Эти R^2 характеризуют контролируемую модель измерения, а не точность AstraField на производственных полях.

Результаты и обсуждение

Граница информативности широких каналов

Потеря информации определяется не числом каналов самим по себе, а интегрированием спектра внутри окна. На рис. 2 два модельных состояния различаются по S более чем в четыре раза: 0,17 и 0,80. Узкие особенности видны в непрерывном спектре, тогда как среднее расхождение восьми показанных широких каналов равно 0,8 %. Решение «состояния одинаковы», принятое по близости этих каналов, было бы ложным: значения S различны. Гиперспектр сохраняет признаки, необходимые для их разделения. Это иллюстрация механизма ошибки, а не полевое наблюдение болезни.

Мультиспектр сохраняет преимущества частоты, пикселя и длинного архива, поэтому оптимален для поиска устойчивой аномалии и фенологии. Гиперспектр нужен после скрининга – для формы красного края, пигментной динамики и полос поглощения. Следовательно, сенсоры не заменяют, а дополняют друг друга.

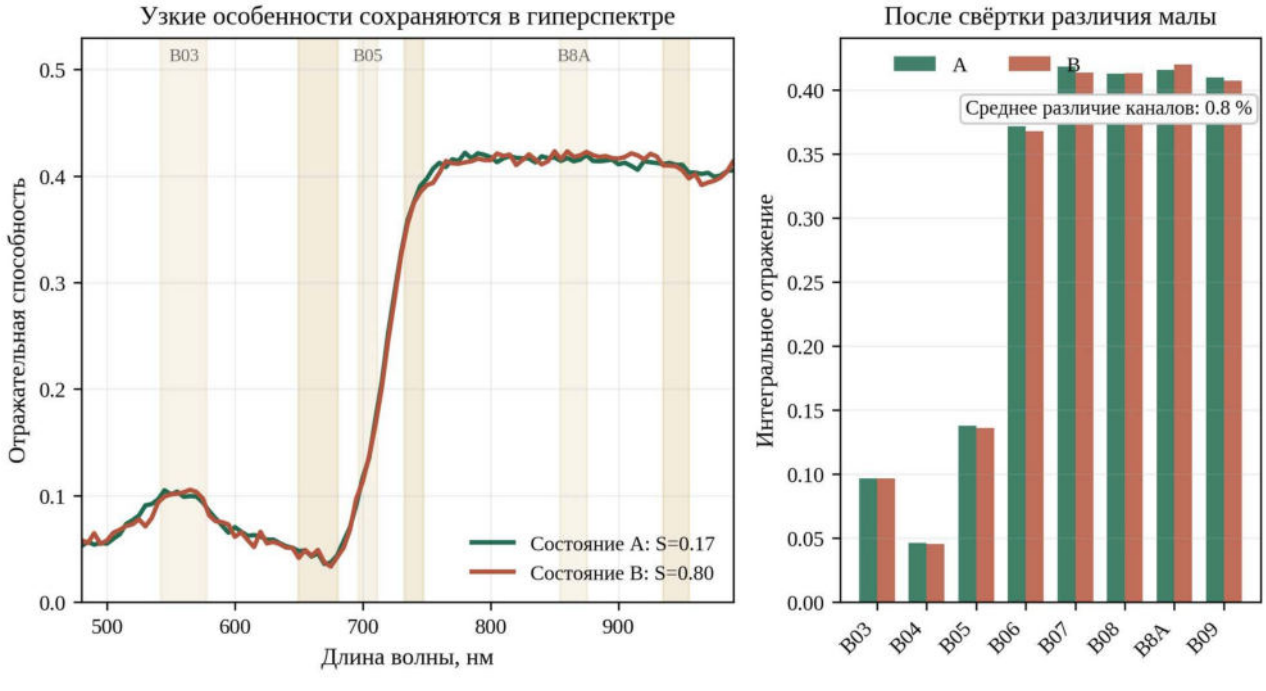


Рис. 2. Потеря диагностической информации при свертке непрерывного спектра с широкими каналами; S – скрытый модельный физиологический фактор

Полевой пример приведён Yu и соавт. для септориоза пшеницы [10, табл. 5]. Из 48 наблюдений класса «болезнь» на проверочной выборке n = 758 модель по NDVI пропустила 40. Гиперспектральный дискриминантный анализ методом частичных наименьших квадратов (PLSDA) пропустил два: чувствительность выросла с 16,67 до 95,83%. Однако ложнополо-

жительных решений стало 52 вместо 43. Гиперспектр существенно сократил пропуски при принятой авторами разметке по экспериментальным вариантам, но не устранил все ошибки. Индекс и полный спектр получены из одних наземных измерений; сравнение отражает совместный эффект выбора признаков и модели, а не прямой тест двух спутниковых сенсоров.

Количественный тест разрешающей способности

Результаты вычислительного эксперимента приведены на рис. 3. Один NDRE практически не восстанавливал S: $R^2 = 0,07$, RMSE = 0,22. Девять каналов повысили R^2 до 0,43 и снизили RMSE до 0,17. Гиперспектральный вариант достиг $R^2 = 0,84$ и RMSE = 0,09. По приведенным округленным значениям снижение RMSE составило около 47% относительно девяти каналов и 59% относительно NDRE. Это размер наблюдаемого эффекта в модельном опыте, а не оценка его статистической значимости.

Разрыв зависит от параметра, шума и распределения состояний. В данном опыте влияние S на узкие особенности заложено в модель, поэтому результат проверяет потерю именно этой информации при усреднении. Он не доказывает универсального превосходства гиперспектра и не задаёт точность распознавания конкретной болезни.

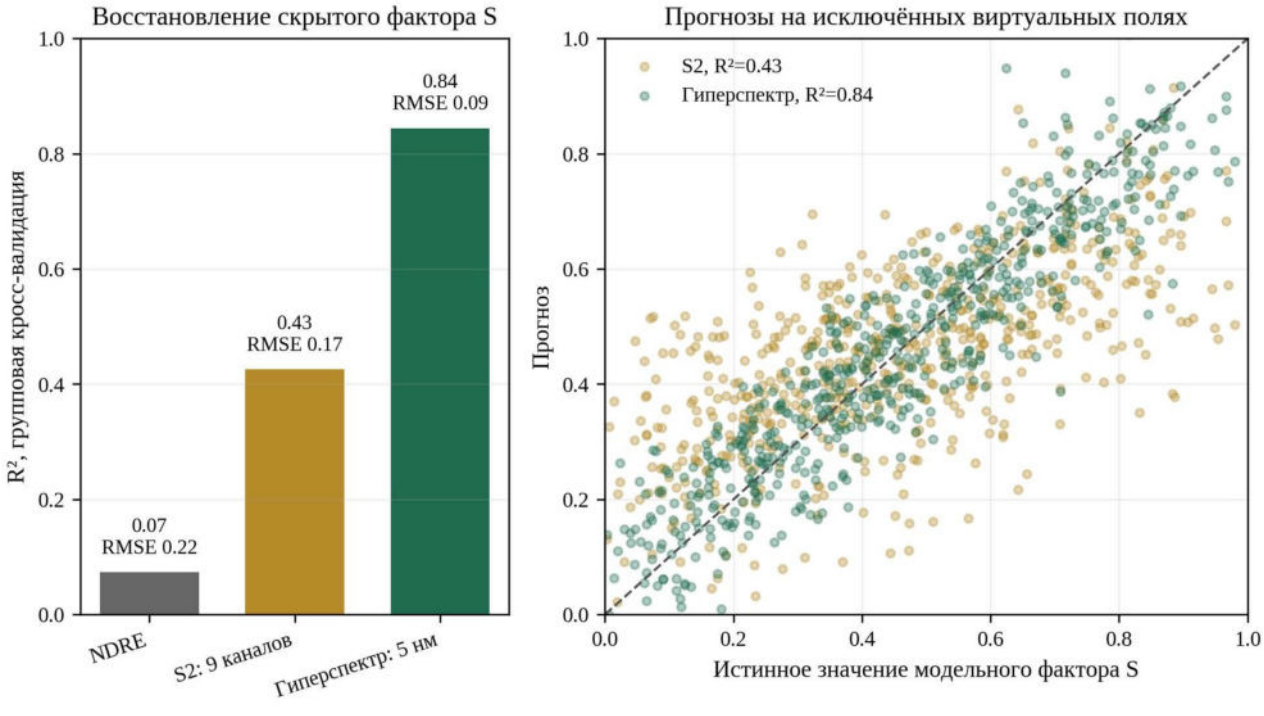


Рис. 3. Результаты контролируемого вычислительного эксперимента: групповая кросс-валидация по 50 виртуальным полям, n = 1800

Сопоставление с независимыми исследованиями

Внешние результаты с наземной разметкой приведены в табл. 1. Для двух сортов кукурузы модели азота листа получили $R^2 = 0,860$ и 0,878; учет сорта повысил качество подгонки на 10,6 % и снизил RMSE на 29,2 % [7]. Значит, даже полный спектр не отменяет сортовую и фазовую калибровку. Результаты разных работ не объединяются в общую оценку точности: различаются задачи, сенсоры и схемы проверки.

Для урожайности озимой пшеницы модель на NDRE дала среднюю абсолютную процентную ошибку (MAPE) 8,44% и RMSE 0,90 т/га на независимой выборке n = 70, а комбинация четырех узких диапазонов снизила ошибки до 6,56% и 0,70 т/га [6]. При септориозе случайный лес достиг точности 95,83% и сбалансированной точности 94,83%; тяжесть поражения прогнозировалась с $R^2 = 0,9199$, причем сокращенный набор зелёного, красного, краснокраевого

и ближнего инфракрасного диапазонов сохранил качество полного спектра [8]. Гиперспектр тем самым может находить диапазоны для более дешевого операционного сенсора.

При слиянии EnMAP или PRISMA с Sentinel-2 средние R^2 для признаков пшеницы составляли около 0,62-0,63 в вегетативной фазе и снижались примерно до 0,41-0,45 в репродуктивной [9]. Эти различия указывают на необходимость отдельной проверки моделей по фазам: спектральные признаки меняются вместе с архитектурой полога.

Таблица 1

Количественные результаты независимых исследований

Задача и источник	Сопоставление	Результат	Граница переноса
Азот листьев кукурузы [7]	Гиперспектр, PLSR	R^2 = 0,860 и 0,878; учет сорта: +10,6 % к качеству и -29,2 % к RMSE	Два сорта; результат зависит от фазы
Урожайность озимой пшеницы [6]	NDRE против четырех узких диапазонов	MAPE: 8,44 против 6,56 %; RMSE: 0,90 против 0,70 т/га	Пять фаз; независимая выборка n = 70
Септориоз пшеницы [8]	Гиперспектр против БПЛА-мультиспектра	Точность 95,83 %; сбалансированная точность 94,83 %; тяжесть R^2 = 0,9199	Один полевой опыт; требуется внешняя проверка
Признаки пшеницы [9]	EnMAP/PRISMA + Sentinel-2	Средний R^2 около 0,62-0,63 в вегетативную и 0,41-0,45 в репродуктивную фазу	Сильная зависимость от фазы и признака

Апробация мультисенсорного конвейера AstraField

В пилоте AstraField проверялась последовательность «геометрия – чистый посев – культура и фаза – независимый сенсор – гипотеза». Результаты показаны на рис. 4. Сегментация оценила 51,8 га пшеницы на поле 409 при фактических 52,0 га: отклонение составило –0,2 га, или –0,38 %. Это результат одного поля, а не средняя ошибка сегментации. Классификация культур по нормализованному разностному индексу желтизны (NDYI), сезонной кривой и календарю совпала с данными хозяйства для четырех из пяти полей; фенофаза – для пяти из пяти. У рапса NDYI в цветение составлял 0,20-0,26, у пшеницы – около 0,08, что образовало интерпретируемый признак.

Для совпадений 4/5 и 5/5 точные 95%-ные биномиальные интервалы при условии независимости испытаний составляют соответственно 28,4-99,5 и 47,8-100%. Даже при таком допущении неопределённость велика. Поэтому результаты пилота приводятся как числа проверенных полей, без переноса долей 80 и 100% на другие хозяйства.

Поле 1031 оптически выглядело пустым в апреле. Радиолокационный вегетационный индекс (RVI) находился в диапазоне 0,35-0,46, а к 20 мая вырос до 0,73; вместе с календарем это позволило отличить поздний весенний посев от пара. Здесь оптическую интерпретацию уточнил радар, а не гиперспектр. На двух корректно сопоставленных полях пшеницы REP по EMIT составил 728 и 726 нм и дал тот же порядок, что и crop-core NDRE Sentinel-2. Такое согласование двух полей не подтверждает само по себе различий в азотном питании и не задает норму удобрения.

Для скрининга болезнеподобного стресса рассчитывались остатки PRI, PSRI, NDRE и пространственная пятнистость относительно фазы. Подтвержденной наземной разметки заболевания не было, поэтому полевой R^2 по болезни не оценивался. Модуль должен выдавать координаты осмотра и оценку аномальности, а не подтвержденный диагноз. Точность 95,83%

относится только к внешнему опыту [8]. Такое разделение сигнала и диагноза необходимо, чтобы не назначать обработку по неподтвержденной причине.

Рабочий контур содержит 14 оптических, пять гиперспектральных и три радиолокационных пиксельных слоя. Сегментация и признаки рассчитываются методами компьютерного зрения, PLSR и деревьями решений; вывод содержит подтверждения и требуемый наземный тест. Абсолютная урожайность в т/га не заявляется без комбайновых карт, однако относительный рейтинг строится по интегралам NDVI/NDRE, пику полога и фазе.

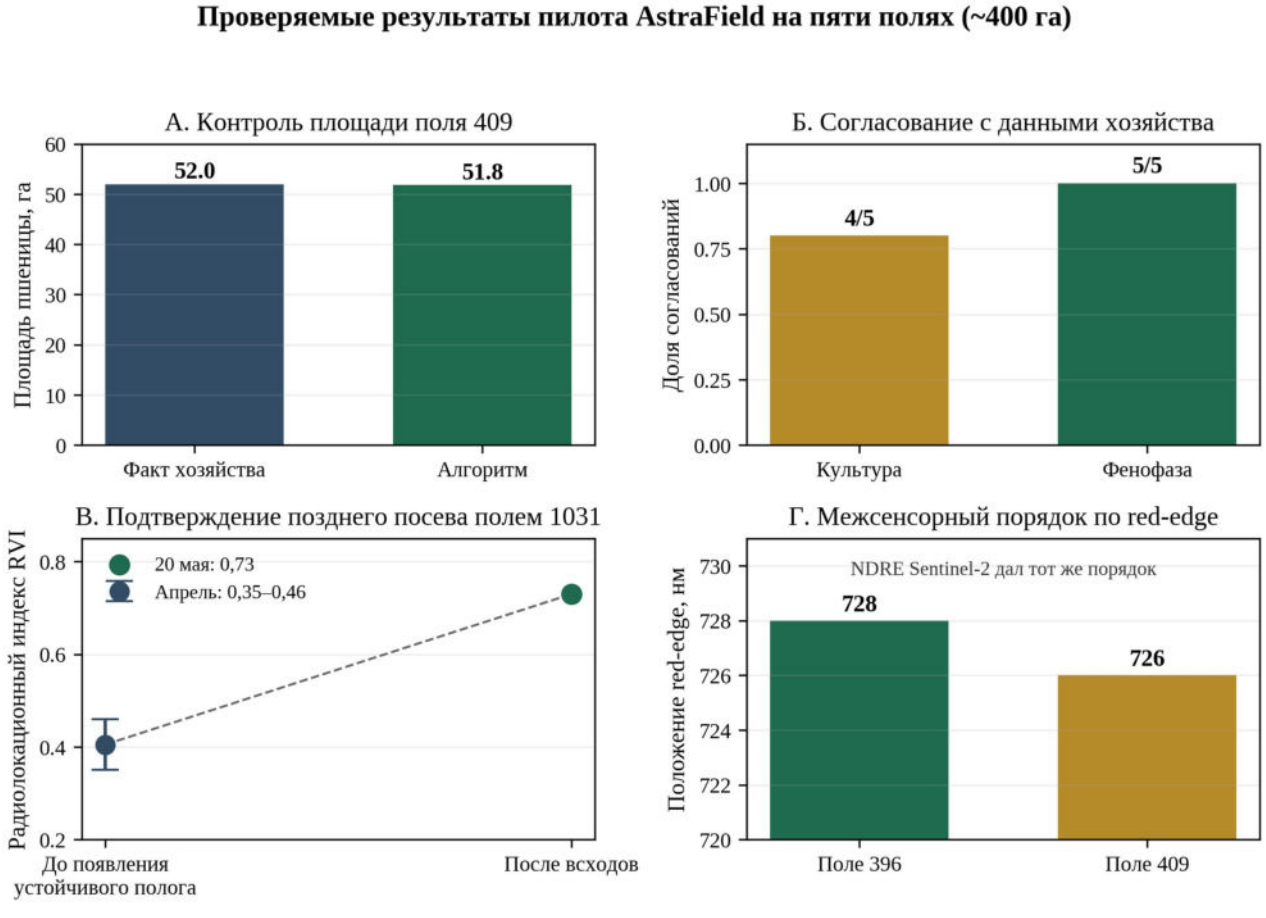


Рис. 4. Проверяемые результаты пилота AstraField на пяти полях общей площадью около 400 га

Роль «Ресурс-П» и производственная архитектура

В российских условиях «Ресурс-П» целесообразен как целевой диагностический слой поверх архива Sentinel-2 и Sentinel-1. Его каналы в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне позволяют уточнять REP, пигменты, цветение и тип культуры. Но диапазон заканчивается около 1000 нм: прямые признаки воды около 1200 нм, лигнина, целлюлозы и белковых связей в коротковолновом инфракрасном диапазоне недоступны. Совместная обработка российских гиперспектральных и мультиспектральных данных возможна после геометрического и радиометрического приведения [1], однако сравнение одного NDVI не доказывает диагностику причины.

Производственный процесс включает восстановление временных рядов за два-три сезона, регулярный мультиспектральный и радарный скрининг, проверку crop-core и календаря, целевой гиперспектр и формирование ранжированных гипотез с заданием на осмотр или отбор проб. Несогласованность сенсоров либо отсутствие наземного подтверждения – основание для дополнительной проверки, а не для автоматического назначения препарата или нормы вне-

сения. Заказ съемки – лишь получение данных. Основная работа – межсенсорная калибровка, модели по культурам и фазам и база связей «сигнал – подтвержденное состояние».

Ограничения и требования к переносу

Первое ограничение – масштаб пикселя: при 30-60 м граница или соседняя культура могут менять спектр сильнее раннего процесса, поэтому обязательны точные контуры, crop-core и доля валидных пикселей. Второе – переносимость: случайное деление пикселей завышает качество; проверка должна исключать целые поля и сезоны. Третье – специфичность: спектр фиксирует изменение ткани, но без разметки не устанавливает патоген и дозу препарата. Четвертое – облачность и доступность гиперспектральной сцены, поэтому глубокий анализ запускается по триггеру.

Для производственной модели необходим протокол наземной валидации: координатные осмотры слабых и контрольных зон, тканевый азот, влажность почвы, лабораторное подтверждение болезни и фактическая урожайность. Каждое предсказание должно хранить версию модели, культуру, фазу, сенсорный состав и интервал неопределенности. Автоматическая норма допустима только после независимой проверки на следующем сезоне.

Выводы

1. Широкополосные индексы эффективно обнаруживают аномалию, но определение причины часто неидентифицируемо из-за усреднения, смешанных пикселей и фенологии. Близость индексов не исключает различий физиологического состояния.

2. В контролируемом эксперименте с разделением по 50 виртуальным полям R^2 вырос с 0,07 для NDRE и 0,43 для девяти каналов до 0,84 для гиперспектра. Снижение RMSE относительно девяти каналов составило около 47 %; результат относится к заданной модели узких спектральных особенностей, а не к полевой точности продукта.

3. В полевом исследовании [10] NDVI-модель пропустила 40 из 48 наблюдений класса «болезнь», гиперспектральная – два. При этом число ложноположительных решений выросло с 43 до 52; оценивать следует оба типа ошибок, а не только общую точность.

4. Пилот AstraField показал выполнимость этапов обработки на пяти полях: площадь 51,8 против 52,0 га, культура 4/5, фенофаза 5/5, уточнение позднего посева по радару и согласованный red-edge-рейтинг двух полей. Эти результаты не заменяют независимой проверки диагностики болезней и азотного статуса.

5. Для российских полей предлагается схема «архивный мультиспектр и радар – аномалия – гиперспектральное уточнение – наземная проверка – действие». «Ресурс-П» применим к задачам видимого и ближнего инфракрасного диапазонов; для дополнительных признаков воды, сухого вещества и белков необходим коротковолновый инфракрасный источник.

6. Надёжность решения требует crop-core-сегментации, межсенсорной калибровки, моделей по культурам и фазам, групповой валидации и базы подтвержденных состояний. Непроверенная спектральная аномалия служит основанием для осмотра, но не для автоматического агрохимического вмешательства.

Список литературы

1. Ковенько И. С., Чермошенцев А. Ю. Оценка состояния экосистем с использованием гиперспектральных и мультиспектральных данных // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2025. Т. 6. С. 87-92. DOI: 10.33764/2618-981X-2025-6-87-92.

2. Космические аппараты типа «Ресурс-П» № 4 и № 5 / Научный центр оперативного мониторинга Земли. URL: https://ntsomz.ru/ka_resurs_p_4_5/ (дата обращения: 31.08.2026).

3. Drusch M., Del Bello U., Carlier S. et al. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 120. P. 25-36. DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026.

4. EMIT Spectral Bands / NASA Earthdata. URL: https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/emit-imaging-spectrometer/spectral-bands (accessed: 31.08.2026).

5. Graf L. V., Merz Q. N., Walter A., Aasen H. Insights from Field Phenotyping Improve Satellite Remote Sensing Based In-Season Estimation of Winter Wheat Growth and Phenology // Remote Sensing of Environment. 2023. Vol. 299. Art. 113860. DOI: 10.1016/j.rse.2023.113860.

6. Liu Y., Sun L., Liu B. et al. Estimation of Winter Wheat Yield Using Multiple Temporal Vegetation Indices Derived from UAV-Based Multispectral and Hyperspectral Imagery // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, № 19. Art. 4800. DOI: 10.3390/rs15194800.

7. Lu Y., Zhang X., Cui Y. et al. Response of Different Varieties of Maize to Nitrogen Stress and Diagnosis of Leaf Nitrogen Using Hyperspectral Data // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Art. 5890. DOI: 10.1038/s41598-023-31887-z.

8. Wójtowicz A., Piekarczyk J., Wójtowicz M. et al. Machine Learning-Based Detection and Quantification of Septoria Leaf Blotch in Winter Wheat from Hyperspectral and UAV Multispectral Data // Remote Sensing. 2026. Vol. 18, № 16. Art. 2800. DOI: 10.3390/rs18162800.

9. Yilmaz V., Serifoglu Yilmaz C., Belgiu M. et al. Fusion of EnMAP/PRISMA Hyperspectral and Sentinel-2 Multispectral Imagery for Estimating Crop Traits // International Journal of Remote Sensing. 2026. Vol. 47, № 4. P. 1699-1726. DOI: 10.1080/01431161.2026.2612849.

10. Yu K., Anderegg J., Mikaberidze A. et al. Hyperspectral Canopy Sensing of Wheat Septoria Tritici Blotch Disease // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. Art. 1195. DOI: 10.3389/fpls.2018.01195.

УДК 004.89:619:616.15

ДВУХЭТАПНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЛЕЙКОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАССИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Макаров Д.А., студент ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»;
ORCID: 0009-0000-0699-2176;
Макаров А.С., к.в.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-9277-9239

TWO-STAGE SYSTEM FOR AUTOMATED DIAGNOSIS OF BOVINE LEUKEMIA USING CLASSICAL MACHINE LEARNING AND COMPUTER VISION SOLUTIONS

Makarov D.A., student, Kazan National Research Technological University;
ORCID: 0009-0000-0699-2176;
Makarov A.S., Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-9277-9239

Аннотация

Вирусный лейкоз крупного рогатого скота (ВЛКРС) является одной из ключевых проблем современной ветеринарии, наносящую значительный экономический ущерб животноводческим хозяйствам за счет ранней гибели животных, снижения производительности и ограничений, накладываемых на хозяйство. Традиционные методы лабораторной диагностики (ПЦР, РИД, ИФА) обладают высокой точностью, но требуют существенных финансовых затрат, наличия специализированного оборудования и длительного времени ожидания

результатов. В настоящей работе предложена каскадная система поддержки принятия врачебных решений, объединяющая методы классического машинного обучения и глубокого обучения в области компьютерного зрения. На первом этапе ансамблевая модель Random Forest выполняет первичный анализ на основе базовых гематологических показателей крови, обеспечивая полноту охвата (Recall) на уровне 90.48%. На втором этапе модель компьютерного зрения YOLOv8 осуществляет проверку по оцифрованным снимкам мазков крови, достигая точности (Precision) = 0.973 и метрики качества mAP50 = 0.993. Предложенная архитектура позволяет автоматизировать процесс постановки диагноза, минимизировать влияние человеческого фактора, снизить нагрузку на лабораторный персонал и уменьшить совокупную стоимость массового скрининга стада.

Ключевые слова: вирус лейкоза крупного рогатого скота, машинное обучение, компьютерное зрение, YOLOv8, Random Forest, гематологический анализ, автоматизация диагностики, SMOTE

Abstract

Bovine leukemia virus (BLV) is one of the key problems in modern veterinary medicine, causing significant economic damage to livestock farms due to early animal mortality, reduced productivity, and farm restrictions. Traditional laboratory diagnostic methods (PCR, RID, ELISA) feature high accuracy, but require substantial financial costs, specialized equipment, and long waiting times for results. In this study, a cascade clinical decision support system is proposed, combining classical machine learning and computer vision deep learning methods. At the first stage, the Random Forest ensemble model performs primary analysis based on routine hematological blood parameters, achieving a Recall of 90.48%. At the second stage, the YOLOv8 computer vision model verifies digitized blood smear images, reaching a Precision of 0.973 and a mAP50 quality metric of 0.993. The proposed architecture allows automating the diagnostic process, minimizing the human factor, reducing the workload on laboratory staff, and lowering the overall cost of mass herd screening.

Keywords: bovine leukemia virus, machine learning, computer vision, YOLOv8, Random Forest, hematological analysis, diagnostic automation, SMOTE

1. Введение

Вирус лейкоза крупного рогатого скота (Bovine Leukemia Virus, BLV) – экзогенный ретровирус, вызывающий хроническое инфекционное заболевание опухолевой природы, поражающее органы кроветворной системы животных. Заболевание характеризуется длительным латентным периодом, полиморфизмом клинических проявлений и отсутствием эффективных терапевтических протоколов. Единственной экономически оправданной стратегией борьбы с инфекцией является ранняя диагностика, строгая изоляция и последующая выбраковка инфицированных особей для разрыва эпизоотической цепи.

В современной ветеринарной практике золотым стандартом диагностики служат серологические методы, такие как реакция иммунодиффузии (РИД) и иммуноферментный анализ (ИФА), а также молекулярно-генетическая диагностика методом полимеразной цепной реакции (ПЦР). Данные методы характеризуются высокими показателями чувствительности и специфичности. Однако проблема сплошного регулярного тестирование всего поголовья с применением ПЦР или ИФА сопряжена с критически высокими финансовыми издержками.

Альтернативным подходом является клинический анализ крови с последующим микроскопированием окрашенных мазков. На стадии развернутых гематологических изменений у инфицированных животных наблюдается выраженный лимфоцитоз, появление атипичных лимфоидных клеток и полиморфизм ядер. Главное ограничение данного метода – крайне высокая трудоемкость и субъективность визуальной оценки. Врач-лаборант вынужден микроскопировать от 100 до 200 полей зрения для одного образца, что при массовых исследованиях неминуемо ведет к утомлению и пропуску патологий (ложноотрицательным результатам).

Развитие методов машинного обучения (Machine Learning, ML) и компьютерного зрения (Computer Vision, CV) представляет новые возможности решения проблемы скрининговой диагностики [1]. В медицине человека алгоритмы глубокого обучения уже успешно применяются для классификации клеток периферической крови при острых и хронических лейкозах. Однако в ветеринарной практике подобные решения представлены фрагментарно и зачастую не учитывают специфику видовых норм крови животных.

Цель данного исследования – разработка, математическое обоснование и экспериментальная проверка каскадной двухэтапной системы, сочетающей быстрый скрининг гематологических параметров с последующей проверкой снимков мазков крови с применением сверточных нейронных сетей или же компьютерного зрения.

2. Материалы и методы

Архитектура разрабатываемой системы выстроена по каскадному принципу, строго повторяющему алгоритм и логику работы ветеринарного врача. Процесс разделен на блок табличного предсказания и блок анализа изображений.

2.1. Первая ступень: Гематологический экспресс-скрининг

На первом этапе система анализирует результаты общего клинического анализа крови. Входной пакет признаков включает абсолютное и относительное количество лейкоцитов (WBC), эритроцитов (RBC), уровень гемоглобина (HGB), гематокрит (HCT), средний объем эритроцита (MCV), среднее содержание гемоглобина (MCH), уровень тромбоцитов (PLT) и показатели лейкоцитарной формулы. Базовым классификатором выбран алгоритм случайного леса (Random Forest) [2]. Выбор обусловлен высокой устойчивостью алгоритма к аномалиям в медицинских данных (ошибочные данные или весьма редкие) и отсутствием необходимости в строгой нормализации данных. В процессе обучения модель строит множество независимых деревьев решений. Оценка качества разбиения узлов в каждом дереве вычисляется на основе формулы 1 (Критерий неоднородности Джини):

Формула 1 (Критерий неоднородности Джини)

$$\mathrm{Gini} = 1 - \sum_{i=1}^{C} p_i^2 \qquad (1)$$

p_i – вероятность принадлежности объекта к классу i в заданном узле;
C – общее количество классов.

При анализе данных реальных животноводческих комплексов возникает проблема критического дисбаланса классов: доля подтвержденных случаев заболевания варьируется от 5% до 15% от общего объема. Обучение классификатора на таких данных приводит к смещению разделения к более частому классу (классификатор при ответе будет склоняться к выдаче более популярного класса). Для решения проблемы применен метод синтетического оверсемплинга SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) [3]. Алгоритм генерирует новые синтетические векторы признаков для меньшего класса путем линейной интерполяции между существующими примерами. Для максимизации охвата инфицированных животных порог принятия решения был скорректирован. Оптимальный порог классификации вероятности установлен на уровне 0.35, что смещает баланс метрик в сторону полноты (Recall) за счет контролируемого снижения точности (Precision).

2.2. Вторая ступень: Цитологическая верификация

Образцы, размеченные первой ступенью как «положительные» или «требующие внимания», подлежат микроскопированию. Для локализации и морфологической оценки лейкоцитов на оцифрованных фотографиях мазков применена архитектура YOLOv8 (версия YOLOv8m), являющаяся современным решением в задачах детекции объектов (Object Detection).

Архитектура сети состоит из трех ключевых модулей:

1. Магистральная сеть (Backbone) на базе модифицированного CSPDarknet53 извлекает иерархические карты признаков различного разрешения. Применение структур Cross Stage Partial Network (CSP) позволяет сократить вычислительные затраты и улучшить градиентный поток при обратном распространении ошибки.

2. Шея сети (Neck) использует структуру PANet (Path Aggregation Network) для агрегации контекстной информации, объединяя признаки низкого и высокого уровней. Это критически важно для распознавания полиморфных клеток разного диаметра.

3. Головная часть (Head) в YOLOv8 выполнена по схеме anchor-free, что избавляет от необходимости ручного подбора размеров якорных боксов под клетки.

В качестве функции потерь (Loss Function) для регрессии ограничивающих рамок используется комбинация CIoU (Complete Intersection over Union) и DFL (Distribution Focal Loss) [4]. CIoU учитывает не только площадь пересечения рамок, но и расстояние между их центрами, а также соотношение сторон, что особенно важно для точного оконтуривания сферических объектов (клеток).

2.3. Подготовка данных и вычислительные ресурсы

Ввиду ограниченной доступности открытых размеченных ветеринарных датасетов, тестирование и обучение производилось в два изолированных этапа: на синтетических данных и на реальных клинических анализах.

Первичная отладка гематологического модуля проводилась на синтетическом наборе (N = 200), сгенерированном с учетом видовых референсных интервалов показателей крови КРС. Для проверки устойчивости модели компьютерного зрения к естественному биологическому шуму и артефактам окрашивания использовались наборы реальных человеческих анализов и микрофотографий мазков крови. Клетки крови человека и КРС обладают выраженным морфологическим сходством, а паттерны сдвига лейкоцитарной формулы при лейкозах имеют общие биологические закономерности. Это делает научно обоснованным использование реальных человеческих данных для оценки способности алгоритмов к выявлению признаков в условиях, максимально приближенных к реальной лабораторной практике.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Эффективность первой ступени скрининга

Тестирование алгоритма машинного обучения проводилось последовательно на двух типах данных. На этапе проверки работоспособности концепции модель анализировала синтетически сгенерированные данные крови КРС. На идеализированной синтетической выборке алгоритм Random Forest продемонстрировал практически линейное разделение классов, достигнув метрики ROC-AUC = 0.9541 и общей точности = 0.9350.

Однако синтетические генераторы склонны сглаживать дисперсию признаков. Для проверки системы в условиях реального шума модель была протестирована на выборке реальных клинических анализов крови человека (N = 200, дисбаланс классов 1:8.5). При переходе на реальные данные потребовалось активное применение алгоритма SMOTE и смещение порога вероятности. Результаты тестирования на реальных данных представлены в таблице 1.

Таблица 1

Метрики гематологического фильтра на реальных клинических данных

Метрика / Класс	Класс 0 (Здоровые)	Класс 1 (Инфицированные)	Среднее (Macro Avg)
Precision (Точность)	0.9783	0.1759	0.5771
Recall (Полнота)	0.5028	0.9048	0.7038
F1-Score	0.6642	0.2946	0.4794
ROC-AUC	–	–	0.7491

Анализ результатов показывает закономерное для реальных биологических данных снижение метрики ROC-AUC до 0.7491 по сравнению с синтетикой. Тем не менее, скорректированная модель успешно улавливает более 90% реальных случаев заболевания (Recall = 90.48%) по базовому табличному анализу. Низкий уровень Precision (17.59%) для первого класса является расчетным компромиссом каскадной архитектуры. Половина здоровых образцов немедленно отсеивается как строго негативные (True Negatives), а все сомнительные случаи переходят на второй этап анализа.

3.2. Эффективность компьютерного зрения

Модель YOLOv8m обучалась и тестировалась на выборке реальных изображений мазков крови. Тестовый набор включал 73 изображения, содержащих 72 размеченных патологических и атипичных лейкоцита. Результаты обучения и работы модели предоставлены в таблице 2 и на рис. 1 соответственно.

Таблица 2

Результаты детекции клеток на реальных мазках крови (YOLOv8)

Класс	Изображения	Объекты	Precision (Точность)	Recall (Полнота)	mAP50	mAP50-95
Лейкоциты	73	72	0.973	1.000	0.993	0.794

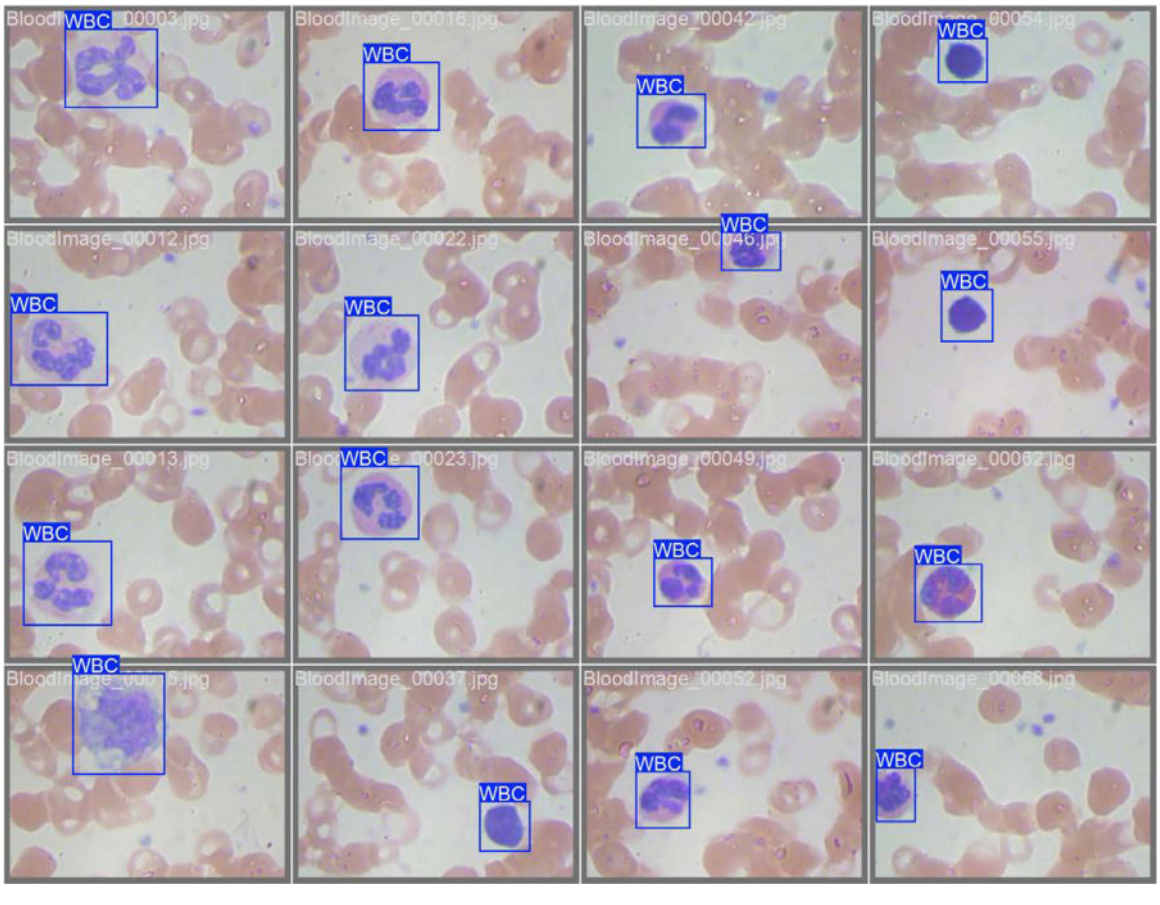


Рис. 1. Результат работы нейронной сети

Нейросеть продемонстрировала исключительные показатели. При метрике полноты Recall = 1.0 (100%) алгоритм не пропустил ни одной клетки на снимках. Точность Precision составила 0.973, что свидетельствует о высочайшей специфичности детектора. В ходе каче-

ственного анализа было установлено, что нейросеть уверенно игнорирует артефакты преаналитического этапа (скопления красителя, пыль на линзе микроскопа) и корректно выделяет клетки даже в случае их физического перекрытия, компенсируя низкую точность первой ступени скрининга.

3.3. Экономическая целесообразность

Объединенное использования двух алгоритмов создает отказоустойчивый конвейер. Если ферма отправляет на анализ кровь от 1000 голов, первая ступень отсеивает около 500 заведомо здоровых животных, не требующих дальнейшего изучения. Оставшиеся 500 образцов исследуются микроскопически, однако врач-лаборант уже не будет тратить время на визуальный поиск – нейросеть сама определит подозрительные клетки и выводит их на экран для подтверждения диагноза. Это сильно ускоряет процесс лабораторной диагностики и делает его намного дешевле.

4. Заключение

В ходе проведенного исследования была успешно спроектирована и проверена автоматизированная конвейерная система скрининга.

1. Продемонстрирована работоспособность системы как на синтетических, так и на зашумленных реальных клинических данных.

2. Доказано, что применение Random Forest в связке со SMOTE позволяет использовать базовые гематологические данные для отсева здоровых образцов, снижая объем ручной работы на 50%.

3. Экспериментально подтверждена эффективность архитектуры YOLOv8 в задачах морфологического анализа (mAP50 = 0.993).

Интеграция предложенного решения в лабораторные информационные системы ветеринарных комплексов [5] позволит существенно повысить пропускную способность диагностики.

Список литературы

1. Макаров, А. С. Использование компьютерных технологий в организации ветеринарного сервиса / А. С. Макаров, Н. М. Василевский. – Текст : непосредственный // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2006. – Т. 182. – С. 195–204. – EDN OOBPUS.

2. Breiman, L. Random forests / L. Breiman. – Text : unmediated // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, № 1. – P. 5–32.

3. Chawla, N. V. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique / N. V. Chawla, K. W. Bowyer, L. O. Hall. – Text : unmediated // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2002. – Vol. 16. – P. 321–357.

4. Zheng, Z. Enhancing geometric factors into model learning and inference for object detection and instance segmentation / Z. Zheng, P. Wang, D. Ren [et al.]. – Text : unmediated // IEEE Transactions on Cybernetics. – 2021. – Vol. 52, № 8. – P. 8574–8586.

5. Интеграция современных научных разработок в отраслевые системы : сборник докладов Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 20 марта 2020 года) / под редакцией Р. Д. Иванова. – Санкт-Петербург : ИП Иванов Р. Д., 2020. – 137 с. – ISBN 978-5-6043501-8-8. – Текст : непосредственный.

УДК 636.083:004.94

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И 3D-ПРОТОТИПОВ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Миникаев Д.Т., к.б.н., ассистент кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены;
ORCID: 0000-0002-9628-847X;
Файзрахманов Р.Н., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой технологии животноводства, кормления и зоогигиены;
ORCID: 0000-0001-9485-635X;
Ахметзянова Ф.К., д.б.н., профессор кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0003-0448-8026

APPLICATION OF ECO-FRIENDLY MATERIALS AND 3D PROTOTYPES IN ANIMAL HUSBANDRY

Minikaev D.T., Candidate of Biological Sciences, Assistant, Department of Livestock Technology, Feeding and Zoohygiene;
ORCID: 0000-0002-9628-847X;
Fayzrakhmanov R.N., Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Livestock Technology, Feeding and Zoohygiene;
ORCID: 0000-0001-9485-635X;
Akhmetzyanova F.K., Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Livestock Technology, Feeding and Zoohygiene, Kazan State Agrarian University Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0003-0448-8026

Аннотация

В статье рассмотрены перспективы применения аддитивных технологий и экологически ориентированных полимерных материалов для цифрового прототипирования оборудования в животноводстве. Актуальность работы обусловлена необходимостью оперативной замены отдельных узлов оборудования, адаптации конструкций к условиям конкретных хозяйств и сокращения затрат времени и средств на изготовление единичных и малосерийных деталей традиционными методами. Цель работы заключалась в обобщении современных представлений о применении технологии послойного наплавления (FDM, Fused Deposition Modeling) и полимерных материалов для изготовления прототипов животноводческого оборудования, а также в определении перспективных направлений использования концепции «цифровой фабрики» в научно-исследовательской и образовательной деятельности. Проведен обзор физико-механических характеристик, влагостойкости, химической устойчивости и возможности вторичной переработки основных материалов FDM-печати – PET-G, PLA и армированных полиамидов, – применительно к условиям эксплуатации в животноводстве. Показано, что PET-G сочетает достаточную прочность, ударную вязкость и низкое водопоглощение, что делает его предпочтительным для изделий, контактирующих с влажной средой, тогда как PLA обладает более низкой теплостойкостью и влагостойкостью и целесообразен преимущественно для прототипов и деталей, эксплуатируемых в сухих условиях. Отдельно рассмотрены армированные полиамиды как материал для функциональных деталей, испытывающих повышенные механические нагрузки. Определены основные направления применения цифровой фабрики: изготовление единичных деталей при ремонте оборудования, разработка индивидуализированного оборудования с учетом половозрастных групп животных, создание вспомогательных приспособлений для ветеринарной практики и элементов систем вентиляции, кормления

и удаления навоза. Показано, что основное преимущество цифровой фабрики заключается не в замене традиционного промышленного производства, а в сокращении времени между возникновением технической задачи и получением опытного образца за счет последовательных итераций «моделирование, изготовление, испытание, корректировка». Обоснована целесообразность создания на базе аграрных образовательных и научно-исследовательских организаций небольших цифровых лабораторий, объединяющих научную, образовательную и прикладную деятельность.

Ключевые слова: цифровая фабрика, 3D-печать, аддитивные технологии, экологичные материалы, PET-G, PLA, животноводство, прототипирование, рециклинг

Abstract

This paper examines the prospects for using additive technologies and environmentally oriented polymer materials for digital prototyping of livestock equipment. The relevance of the study is due to the need for the prompt replacement of individual equipment components, the adaptation of designs to the conditions of specific farms, and the reduction of time and cost required for manufacturing single and small-batch parts using traditional methods. The aim of the work was to summarize current knowledge on the use of fused deposition modeling (FDM) technology and polymer materials for manufacturing prototypes of livestock equipment, as well as to identify promising directions for applying the «digital factory» concept in research and educational activities. The physical and mechanical properties, moisture resistance, chemical stability, and recyclability of the main FDM materials – PET-G, PLA, and reinforced polyamides – were reviewed with regard to their use under livestock farming conditions. It is shown that PET-G combines sufficient strength, impact toughness, and low water absorption, making it preferable for parts exposed to humid environments, while PLA has lower heat resistance and moisture resistance and is more suitable for prototypes and parts used in dry conditions. Reinforced polyamides are considered separately as materials for functional parts subjected to increased mechanical loads. The main areas of application of the digital factory are identified: manufacturing single parts for equipment repair, developing customized equipment for different age and sex groups of animals, creating auxiliary devices for veterinary practice, and producing components of ventilation, feeding, and manure removal systems. It is shown that the main advantage of the digital factory lies not in replacing traditional industrial production but in reducing the time between the emergence of a technical problem and the production of a prototype through successive iterations of «modeling, manufacturing, testing, adjustment». The feasibility of establishing small digital laboratories at agricultural educational and research institutions, combining research, educational, and applied activities, is substantiated.

Keywords: digital factory, 3D printing, additive technologies, eco-friendly materials, PET-G, PLA, livestock farming, prototyping, recycling

Введение

Вопросы технологической независимости и рационального использования материальных ресурсов приобретают все большую актуальность для агропромышленного комплекса. В животноводстве регулярно возникает необходимость замены отдельных элементов оборудования, адаптации конструкций к условиям конкретного предприятия и разработки новых технических решений.

Традиционное изготовление единичных и малосерийных деталей связано с необходимостью механической обработки, привлечения специализированных производств или изготовления оснастки. При этом для небольших хозяйств и научно-исследовательских подразделений затраты времени и средств на производство единичной детали могут быть несоразмерны ее стоимости и назначению.

Одним из вариантов решения данной проблемы являются аддитивные технологии, позволяющие изготавливать изделия непосредственно по цифровой трехмерной модели. В отли-

чие от традиционного производства, изменение конструкции при 3D-печати не требует изготовления новой пресс-формы или существенной переналадки оборудования.

В данном случае целесообразно рассматривать не только отдельный 3D-принтер, а комплекс взаимосвязанных операций, включающий цифровое моделирование, подготовку модели к печати, выбор материала и технологических параметров, изготовление изделия и его последующую оценку. Такой комплекс может быть представлен как «цифровая фабрика» прототипов для животноводства.

Особое значение при разработке оборудования для животноводческих объектов имеет выбор материала. Изделия должны обладать достаточной механической прочностью, устойчивостью к влаге, температурным воздействиям и применяемым средствам санитарной обработки. При этом использование материалов, допускающих повторную переработку, позволяет снизить количество отходов, образующихся при изготовлении опытных образцов.

Целью работы являлось обобщение современных представлений о применении аддитивных технологий и полимерных материалов для изготовления прототипов оборудования в животноводстве, а также определение перспективных направлений использования цифровой фабрики в научно-исследовательской и образовательной деятельности.

Материалы и методы

Работа выполнена на основе анализа научных публикаций, технической документации производителей филаментов и материалов, посвященных применению аддитивных технологий. При рассмотрении полимеров учитывались их физико-механические характеристики, технологичность FDM-печати, устойчивость к воздействию влаги и химических факторов, а также возможность повторной переработки.

Основное внимание уделялось PET-G, PLA и армированным полиамидам, поскольку данные материалы позволяют рассмотреть различные варианты применения 3D-печати: от изготовления простых прототипов и вспомогательных элементов до производства функциональных деталей, испытывающих повышенные механические нагрузки.

При оценке возможности применения напечатанных изделий в животноводстве учитывались условия их предполагаемой эксплуатации: контакт с кормом и водой, воздействие влаги, загрязнений, дезинфицирующих растворов, механических нагрузок и температурных колебаний.

Результаты обзора. Среди материалов, применяемых при FDM-печати, PET-G представляет значительный интерес для изготовления прототипов оборудования животноводческого назначения. Материал характеризуется сочетанием прочности, ударной вязкости и относительно низкого водопоглощения. По сравнению с PLA он лучше подходит для изделий, эксплуатируемых во влажной среде [1].

При этом следует учитывать, что эксплуатационные и санитарно-гигиенические свойства готового изделия определяются не только химической природой полимера. Существенное значение имеют конкретная марка филамента, наличие добавок и красителей, параметры печати, материал сопла, качество поверхности и условия последующей эксплуатации. Поэтому наличие у исходного материала документов, подтверждающих возможность контакта с пищевыми продуктами, не следует автоматически рассматривать как подтверждение безопасности любого изделия, изготовленного методом FDM-печати.

PLA отличается хорошей технологичностью, доступностью и относительно низкой стоимостью. К недостаткам материала относятся сравнительно низкая теплостойкость и большая чувствительность к длительному воздействию влаги по сравнению с PET-G. Поэтому его использование целесообразнее рассматривать для прототипов, временных приспособлений и деталей, эксплуатируемых в сухих условиях [1].

Особый интерес представляют композиты PLA с древесными и другими растительными наполнителями. Их применение позволяет получить материалы с измененными механическими и технологическими характеристиками, однако наличие наполнителя не означает ав-

томатического повышения экологической безопасности изделия. Возможность последующей переработки таких композитов также может быть ограничена сложностью разделения компонентов [2].

Армированные полиамиды, в том числе материалы с углеродным или стеклянным волокном, отличаются повышенной прочностью, жесткостью и устойчивостью к механическим нагрузкам. Они могут использоваться для изготовления функциональных деталей, испытывающих значительные нагрузки [3]. Вместе с тем более высокая стоимость материала и требования к температурным условиям печати ограничивают возможность его широкого применения в небольших лабораториях.

Таким образом, выбор материала должен определяться не только его прочностью или стоимостью, но и назначением конкретной детали. Для предварительного прототипирования и изготовления некритичных элементов может быть достаточно PLA или PET-G. Для деталей, подвергающихся повышенным механическим нагрузкам, могут потребоваться инженерные полимеры и армированные композиционные материалы.

Важным преимуществом цифрового прототипирования является возможность оперативного изменения геометрии изделия. При традиционном изготовлении изменение конструкции может потребовать повторной обработки заготовки или изготовления новой оснастки. При использовании 3D-печати цифровая модель может быть скорректирована и повторно отправлена на изготовление.

Например, при разработке кормушки возможно изменение размеров отдельных элементов с учетом вида, возраста и технологической группы животных. При необходимости могут корректироваться высота, ширина отверстий, форма направляющих и другие конструктивные параметры. Аналогичный подход применим при создании переходников, держателей, защитных кожухов и других вспомогательных деталей.

Применение программ трехмерного моделирования и методов топологической оптимизации позволяет дополнительно уменьшать массу отдельных деталей за счет удаления материала из зон, не испытывающих существенных нагрузок. Для прототипов это может иметь значение не только с точки зрения снижения массы изделия, но и для сокращения расхода филамента [4].

Отдельным направлением является использование вторично переработанных полимеров. Для PET-G возможно повторное использование материала после механического измельчения и последующей переработки в филамент. Однако количество циклов переработки и изменение механических свойств должны оцениваться экспериментально для конкретного материала и технологии переработки. Поэтому вторичный PET-G целесообразно рассматривать прежде всего для прототипов и деталей, не относящихся к критически важным элементам оборудования [5].

В животноводстве цифровая фабрика может применяться по нескольким направлениям.

Первое направление связано с изготовлением единичных деталей и прототипов при ремонте оборудования. Это особенно актуально для элементов, которые отсутствуют в стандартной продаже или требуют длительного заказа [6].

Вторым направлением является разработка индивидуализированного оборудования. Геометрические параметры кормушек, поилок и вспомогательных приспособлений могут изменяться с учетом особенностей различных половозрастных групп животных.

Третье направление связано с созданием вспомогательных приспособлений для ветеринарной практики и исследований: фиксаторов, направляющих, шаблонов, моделей органов и анатомических прототипов [7].

Четвертым направлением является разработка элементов систем вентиляции, кормления и удаления навоза. На стадии прототипирования применение 3D-печати позволяет проверить геометрию и удобство конструкции до перехода к более дорогостоящему способу серийного изготовления.

Обсуждение. Проведенный обзор показывает, что основное преимущество цифровой фабрики в животноводстве заключается не в возможности заменить традиционное промышленное производство, а в сокращении времени между возникновением технической задачи и получением первого опытного образца.

Цифровая модель позволяет быстро изменять конструкцию изделия и последовательно проводить несколько итераций «моделирование – изготовление – испытание – корректировка». Такой подход особенно востребован в научно-исследовательской деятельности, где конструкция изделия может неоднократно изменяться в процессе эксперимента.

При этом 3D-печать не следует рассматривать как универсальный способ изготовления всех элементов животноводческого оборудования. Для деталей, испытывающих высокие механические или температурные нагрузки, а также для изделий, непосредственно контактирующих с кормом или водой в течение длительного времени, требуется дополнительная оценка материала и готового изделия.

Перспективным представляется создание на базе аграрных образовательных организаций небольших цифровых лабораторий, включающих 3D-принтеры, программное обеспечение для трехмерного моделирования, оборудование для обработки и хранения филаментов, а также средства контроля получаемых изделий [8].

Использование такой лаборатории может объединять научную, образовательную и прикладную деятельность. Студенты и сотрудники получают возможность разрабатывать цифровые модели, изготавливать прототипы и оценивать их непосредственно в условиях учебных и научных экспериментов.

Заключение

Таким образом, применение аддитивных технологий и экологически ориентированных полимерных материалов создает дополнительные возможности для оперативного прототипирования оборудования в животноводстве.

Наиболее универсальным материалом для предварительного изготовления деталей в условиях лаборатории может рассматриваться PET-G благодаря сочетанию механических характеристик, технологичности печати и возможности последующей переработки. PLA целесообразно использовать преимущественно для прототипов и изделий, не подвергающихся длительному воздействию влаги и повышенной температуры. Для высоконагруженных деталей перспективны инженерные и армированные полимеры.

Основным преимуществом цифровой фабрики является возможность быстрого перехода от цифровой модели к опытному образцу и многократной корректировки конструкции без изготовления специальной производственной оснастки. Использование вторичных полимерных материалов дополнительно способствует снижению количества отходов при изготовлении опытных образцов.

Создание цифровых лабораторий на базе научных и образовательных подразделений аграрных вузов может способствовать ускорению разработки и апробации новых технических решений для животноводства, а также расширению практической составляющей научной и учебной деятельности.

Список литературы

1. Hsueh, M.-H. Effect of Printing Parameters on the Thermal and Mechanical Properties of 3D-Printed PLA and PETG, Using Fused Deposition Modeling / M.-H. Hsueh, C.-J. Lai, S.-H. Wang, Y.-S. Zeng, C.-H. Hsieh, C.-Y. Pan, W.-C. Huang // Polymers. – 2021. – Vol. 13, № 11. – Art. 1758. – DOI: 10.3390/polym13111758.

2. Narlıoğlu, N. Properties of 3D-printed wood sawdust-reinforced PLA composites / N. Narlıoğlu, T. Salan, M. H. Alma // BioResources. – 2021. – Vol. 16, № 3. – P. 5467–5480. – DOI: 10.15376/biores.16.3.5467-5480.

3. Chicos, L.-A. Infill Density Influence on Mechanical and Thermal Properties of Short Carbon Fiber-Reinforced Polyamide Composites Manufactured by FFF Process / L.-A. Chicos, M. A. Pop, S.-M. Zaharia, C. Lancea, G. R. Buican, I. S. Pascariu, V.-M. Stamate // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 10. – Art. 3706. – DOI: 10.3390/ma15103706.

4. Попова, Д. Д. Применение метода топологической оптимизации для уменьшения массы конструктивно подобного кронштейна трубопровода авиационного ГТД / Д. Д. Попова, Н. А. Самойленко, С. В. Семенов, А. А. Балакирев, А. Ю. Головкин // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2018. – № 55. – С. 42–51. – DOI: 10.15593/2224-9982/2018.55.05.

5. Galațanu, S.-V. Mechanical behavior of recycled FDM printed parts from PETG in the circular economy / S.-V. Galațanu, F. N. Serralha, M.-P. Mărghitaș, C. Șoșdean, C.-F. Popa, L. Emanoil, L. Marșavina // Procedia Structural Integrity. – 2024. – Vol. 56. – P. 138–143. – DOI: 10.1016/j.prostr.2024.02.048.

6. Катаев, Ю. В. Перспективы применения технологии 3D-печати сваркой в сельском хозяйстве / Ю. В. Катаев, А. В. Чавдаров // Агроинженерия. – 2026. – Т. 28, № 2. – С. 77–83. – DOI: 10.26897/2687-1149-2026-2-77-83.

7. Hadžiomerović, N. Use of 3D printed low-cost models for veterinary clinical skills training / N. Hadžiomerović, A. Šunje-Rizvan, A. Maksimović, L. Šatrović, F. Tandir // Open Veterinary Journal. – 2025. – Vol. 15, № 2. – P. 863–870. – DOI: 10.5455/OVJ.2025.v15.i2.35.

8. Акиндинов, К. В. Использование аддитивных технологий в агропромышленном комплексе / К. В. Акиндинов, С. С. Архипов, О. В. Пшеничный, Н. В. Картечина // Наука и Образование. – 2026. – Т. 9, № 1.

УДК 528.94

АВТОНОМНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИЯ БПЛА ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Мирзагитов Р.Р., магистрант;
ORCID: 0009-0008-0694-7285;
E-mail: mirzagitov03@mail.ru;
Абдуллин А.И., к.ф-м.н., доцент кафедры анализа данных и технологий программирования Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-8256-9553

AUTONOMOUS VISUAL NAVIGATION OF A UAV FOR AERIAL MAPPING AND MONITORING AGRICULTURAL LAND

Mirzagitov R.R., master's student;
E-mail: mirzagitov03@mail.ru;
Abdullin A.I., Candidate of Science in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Data Analysis and Programming Technologies, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-8256-9553

Аннотация

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали неотъемлемым инструментом точного земледелия, обеспечивая детализированный и гибкий мониторинг посевов и картогра-

фирование полей. В данной работе рассматривается задача повышения автономности БПЛА для картографирования и мониторинга сельхозугодий без наземных контрольных точек, в условиях отсутствия или слабого сигнала глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС – GPS, ГЛОНАСС). Решение основывается на современных подходах в области оптической навигации как эффективной альтернативы ГНСС. Разработано математическое и программное обеспечение БПЛА на основе визуальной одометрии и её расширении – визуально-инерциальной одометрии, которые позволяют оценивать перемещение аппарата по последовательности изображений с бортовой камеры, в том числе без применения гиростабилизированных платформ.

Разработана методика аэрофотосъемки для автономного полета от планирования до построения цифровых ортофотопланов сельскохозяйственных угодий. Для задания границ участка и планирования маршрута аэрофотосъёмки используется спутниковые карты местности. В качестве базового метода относительного позиционирования разработан алгоритм визуальной одометрии на основе признаков ORB: ключевые точки соседних кадров сопоставляются по бинарным дескрипторам, а движение оценивается по гомографии, в случае отсутствия гироподвеса, производится программная компенсация крена и тангажа. В качестве расширенной версии алгоритма автономной навигации реализован метод с визуально-инерциальной оценкой положения, использующий дополнительную информацию инерциального датчика. На тестовом полётном маршруте протяжённостью 3,45 км были получены следующие оценки погрешности: среднеквадратичная абсолютная ошибка траектории (ATE RMSE) составила 7,50 м, относительная ошибка перемещения (RPE RMSE) – 1,28 м, а конечный относительный дрейф – 0,53 %. Полученный результат показывает достаточную точность позиционирования для задачи картографирования и мониторинга при отсутствии сигналов ГНСС. Приводится ортофотоплан поля, построенный по кадрам полёта с помощью предложенной методики.

Ключевые слова: картографирование, мониторинг посевов, автономная навигация БПЛА, визуальная одометрия, визуально-инерциальная одометрия, аэрофотосъёмка, ортофотоплан

Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have become an essential tool in precision agriculture, providing detailed and flexible crop monitoring and field mapping. This paper addresses the problem of increasing UAV autonomy for mapping and monitoring agricultural land without ground control points under conditions of unavailable or weak Global Navigation Satellite System (GNSS – GPS, GLONASS) signals. The proposed solution is based on modern visual navigation approaches as an effective alternative to GNSS. Mathematical and software components for UAV navigation were developed using visual odometry and its extension, visual-inertial odometry, which estimate UAV motion from sequences of onboard camera images, including operation without gyro-stabilized camera platforms.

An aerial survey methodology for autonomous flight was developed, covering the complete workflow from mission planning to the construction of digital orthophoto maps of agricultural land. Satellite maps are used to define the boundaries of the surveyed area and to plan the aerial survey route. As the baseline relative positioning method, an ORB feature-based visual odometry algorithm was developed: keypoints in consecutive frames are matched using binary descriptors, and motion is estimated from a homography. When a stabilized camera mount is unavailable, software-based roll and pitch compensation is applied. As an extended autonomous navigation approach, a visual-inertial position estimation method was implemented using additional information from an inertial sensor. On a test flight trajectory with a length of 3.45 km, the following accuracy values were obtained: the root-mean-square Absolute Trajectory Error (ATE RMSE) was 7.50 m, the root-mean-square Relative Pose Error (RPE RMSE) was 1.28 m, and the final relative drift was 0.53%. These results demonstrate good positioning accuracy under GNSS-denied conditions.

An orthophoto map of the field constructed from the acquired flight images using the proposed methodology is also presented.

Keywords: mapping, crop monitoring, autonomous UAV navigation, visual odometry, visual-inertial odometry, aerial survey, orthophoto map

Введение

Ортофотоплан является одним из основных картографических материалов при обследовании сельскохозяйственных угодий. Он объединяет множество перекрывающихся снимков в геометрически согласованное изображение территории и может служить основой для контроля всходов, поиска пропусков, оценки засорённости и сравнения состояния поля в разные промежутки времени. При использовании мультиспектральной камеры по таким данным дополнительно рассчитывается вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Для наблюдения динамики посевов ортофотопланы необходимо регулярно обновлять, следовательно, БПЛА должен многократно выполнять сходные маршруты аэрофотосъёмки.

Маршрут может выполняться оператором вручную, автоматически по координатам глобальной навигационной спутниковой системы либо с использованием системы RTK (Real-Time Kinematic) – высокоточного кинематического позиционирования в реальном времени. Ручное управление требует постоянного участия квалифицированного оператора и затрудняет точное повторение маршрута [1]. ГНСС-автопилот удобен для типовых заданий, однако зависит от доступности спутникового сигнала. RTK повышает точность, но требует дополнительного оборудования, канала поправок или доступа к корректирующей сети, что увеличивает стоимость и сложность развёртывания [2].

Альтернативой для участка полёта при слабом или отсутствующем сигнале ГНСС является визуальная одометрия – оценка собственного перемещения камеры по последовательности изображений [3]. Она не даёт абсолютных глобальных координат и накапливает ошибку, но позволяет поддерживать локальную траекторию без сопоставления текущего кадра с картой или ранее построенным ортофотопланом. Для уменьшения дрейфа визуальные измерения могут объединяться с данными инерциального измерительного модуля (IMU), образуя визуально-инерциальную одометрию.

Цель работы – повышение автономности БПЛА при аэрофотосъёмке для картографирования за счет применения локальной визуальной или визуально-инерциальной оценки положения, а также автоматизация построения ортофотоплана для сельскохозяйственного мониторинга.

Методика картографической миссии БПЛА

Рабочий процесс разделён на последовательные этапы: задаётся граница поля; рассчитываются параметры аэрофотосъёмки; формируются параллельные линии заданного пути (ЛЗП) и путевые точки; маршрут переводится в локальную систему координат одометрии; БПЛА проходит точки, используя локальную оценку положения; камера записывает перекрывающиеся кадры; после завершения полёта записанные изображения подстилающей поверхности используются для построения ортофотоплана. При повторном мониторинге цикл выполняется заново, а полученные ортофотопланы рассматриваются как временной ряд состояния поля.

Для задания границы поля и формирования маршрута полета используется спутниковая карта местности. Во время автономного участка текущий кадр не сопоставляется ни со спутниковым изображением, ни с предыдущим ортофотопланом. Перед началом движения задаются стартовая точка, начальное направление и метрический масштаб локальной системы. ГНСС в эксперименте используется только как независимая эталонная траектория и не передаётся исследуемому навигационному алгоритму.

Маршрут аэрофотосъёмки

Перед полётом по границе поля формируется возвратно-поступательный маршрут из параллельных линий заданного пути. ЛЗП в данной работе не являются отдельным методом нави-

гации: это геометрическое задание для системы управления, то есть последовательность путевых точек, по которым должен пройти БПЛА. Расстояние между соседними линиями выбирается из поля зрения камеры, высоты и требуемого поперечного перекрытия. Камера на рабочих участках ориентирована в надир, а развороты выполняются за пределами снимаемой области.

Параметры маршрута определяются характеристиками используемого оптического канала. Для телевизионной камеры, использованной в рассматриваемой конфигурации, с полем зрения 49,6° × 39,2° рассчитанные параметры полос приведены в табл. 1. При использовании ИК-камеры параметры маршрута рассчитываются аналогично с учётом её поля зрения.

Таблица 1

Расчет параметров полета БПЛА для аэрофотосъёмки

Высота полёта, м	Ширина полосы изображения при отсутствии крена БПЛА (γ=0), м		Ширина пересечения изображения Δ_{ij}, м	Требуемое расстояние между соседними ЛЗП w_{ij}, м
	по большой стороне сенсора $\alpha_г$	по малой стороне сенсора $\alpha_в$		
100	92	71	20	69
200	184	142	30	139
300	277	213	40	208
400	369	284	60	278
500	462	356	80	347

На рис. 1 показан пример маршрутного задания для высоты 200 м. Белые линии и точки задают траекторию БПЛА. Во время движения по рабочим линиям камера записывает перекрывающиеся кадры; изображения, полученные на разворотах при значительном изменении ориентации, могут исключаться из фотограмметрической обработки. Сам ортофотоплан на этом этапе не используется и формируется только после завершения полёта.



Рис. 1. Схема маршрута аэрофотосъёмки на высоте 200 м для построения ортофотоплана

Визуальная и визуально-инерциальная навигация

Визуальная одометрия определяет относительное движение БПЛА по изменениям изображения от кадра к кадру. Для первоначального варианта решения задачи был разработан алгоритм визуальной навигации на основе дескрипторов ORB [4]. Он выделяет характерные точки изображения и формирует для них компактные бинарные описания. Дескрипторы соседних кадров сравниваются по расстоянию Хэмминга. Поскольку часть совпадений неизбежно ошибочна, применяется RANSAC – метод многократной проверки геометрической модели, позволяющий оставить согласованные соответствия и отбросить выбросы. По оставшимся точкам оценивается гомография, описывающая преобразование между соседними кадрами для преимущественно плоской наблюдаемой поверхности.

Исходное разрешение матрицы камеры 4000 × 3000 пикселей. Для равномерного покрытия изображения ORB-признаками кадр разделяется на сетку 3 × 3; целевое число признаков составляет 4000. Перед оценкой перемещения координаты точек корректируются с учётом высоты, крена и тангажа, чтобы приблизить геометрию кадра к надиру. Для принятия межкадровой оценки требуется не менее 30 геометрически согласованных соответствий. Последовательные перемещения в метрической форме используются для определения текущей позиции БПЛА. Следует учитывать, что текущая реализация ORB использует барометрическую высоту, для более точного измерения рекомендуется использовать дальномер. Компенсация перспективных искажений проводится по данным о тангаже и крене, получаемые со штатного инерциального модуля. Координаты эталонной траектории (заданного маршрута) используются полетным контроллером, а текущие координаты БПЛА вычисляются на основе одометрии.

В качестве усовершенствованной версии автономной навигации был разработан и реализован алгоритм визуально-инерциальной одометрии на основе метода SP-VIO [5], объединяющего данные камеры и инерциального измерительного модуля при оценке движения. Инерциальные измерения предоставляют дополнительную информацию о вращении и ускорении БПЛА и позволяют повысить устойчивость оценки местоположения при недостатке визуальных признаков. SP-VIO и реализованная ORB-одометрия оцениваются по записанным полётным данным одного и того же маршрута. При этом SP-VIO представляет собой самостоятельный визуально-инерциальный алгоритм, поэтому полученные результаты характеризуют различие между двумя методами одометрии, а не влияние добавления инерциальных измерений непосредственно в реализованный ORB-алгоритм.

Путевые точки маршрута предварительно переводятся в локальную систему координат, связанную со стартовой точкой и начальным направлением. Во время полёта текущая локальная позиция сравнивается с очередной ЛЗП и путевой точкой, после чего формируется целевое направление движения для штатного автопилота. Низкоуровневая стабилизация, поддержание высоты и выполнение управляющих команд остаются задачей автопилота.

Экспериментальная оценка

Эксперимент выполнен на записанных данных одного из типичных полётов продолжительностью около 427 секунд и длиной маршрута около 3,45 км. Погрешность для обоих алгоритмов вычисляется относительно одной и той же эталонной траекторией. Для ORB последовательно обрабатываются кадры с бортовой камеры и данные гироскопа, а координаты ГНСС используются только для расчёта погрешности позиционирования. Усовершенствованный алгоритм на основе SP-VIO дополнительно использует данные акселерометра. Перед вычислением ошибок обе оценки совмещаются с эталоном только переносом по первой общей точке; дополнительное вращение или масштабирование под эталон не выполняется.

Для комплексной оценки используются три показателя. Первый – абсолютная ошибка траектории ATE (Absolute Trajectory Error). Она показывает, насколько рассчитанное положение БПЛА в каждый момент отличается от эталонного. В работе используется среднеквадратичное значение по всему полёту:

$$ATE_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} ||\hat{p}_i - p_i||^2}$$

здесь $\hat{p}_i$ – положение, рассчитанное одометрией, p_i – эталонное положение, N – число сравниваемых точек. Чем меньше ATE RMSE, тем ближе вся восстановленная траектория к реальной.

Второй показатель – относительная ошибка перемещения RPE (Relative Pose Error). В отличие от ATE, она оценивает не положение БПЛА относительно всей эталонной траектории, а точность определения его перемещения на коротком участке. В данной работе используется интервал Δt = 1 с. Для каждого момента времени определяется перемещение БПЛА за одну секунду по оценённой и эталонной траекториям:

$$\triangle \hat{p}_i = \hat{p}(t_i + \triangle t) - \hat{p}(t_i), \qquad \triangle p_i = p(t_i + \triangle t) - p(t_i)$$

Ошибка для данного интервала представляет собой разность этих двух перемещений. Среднеквадратичная относительная ошибка перемещения определяется как

$$RPE_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} || \triangle \hat{p}_i - \triangle p_i||^2}$$

где M – число сравниваемых интервалов. Чем меньше RPE, тем точнее одометрия восстанавливает локальное перемещение БПЛА независимо от уже накопленной ошибки всей траектории.

Третий показатель – конечный относительный дрейф: ошибка конечной точки, отнесённая к полной длине пройденного пути L:

$$D = \frac{||\hat{p}_N - p_N||}{L} \cdot 100\%$$

Дрейф показывает, насколько накопленная к концу маршрута ошибка велика относительно его общей длины.

Полученные точности двух алгоритмов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение точности алгоритмов на основе ORB VO и SP-VIO

Метод	ATE RMSE, м	RPE translation RMSE, м	Дрейф, %
ORB VO	106,423	4,629	4,825
SP-VIO	7,496	1,283	0,531

Алгоритм на основе ORB получил ATE RMSE 106,423 м против 7,496 м у SP-VIO, RPE 4,629 м против 1,283 м, и конечный относительный дрейф 4,825 %. против 0,531%, соответственно. Следовательно, на рассматриваемой последовательности SP-VIO имеет примерно в 14,2 раза меньшую абсолютную ошибку траектории, в 3,6 раза меньшую локальную ошибку перемещения и в 9,1 раза меньший конечный относительный дрейф. Сравнение траекторий на рис. 2 и 3 наглядно показывает накопление ошибки ORB и близость SP-VIO к эталонному маршруту.

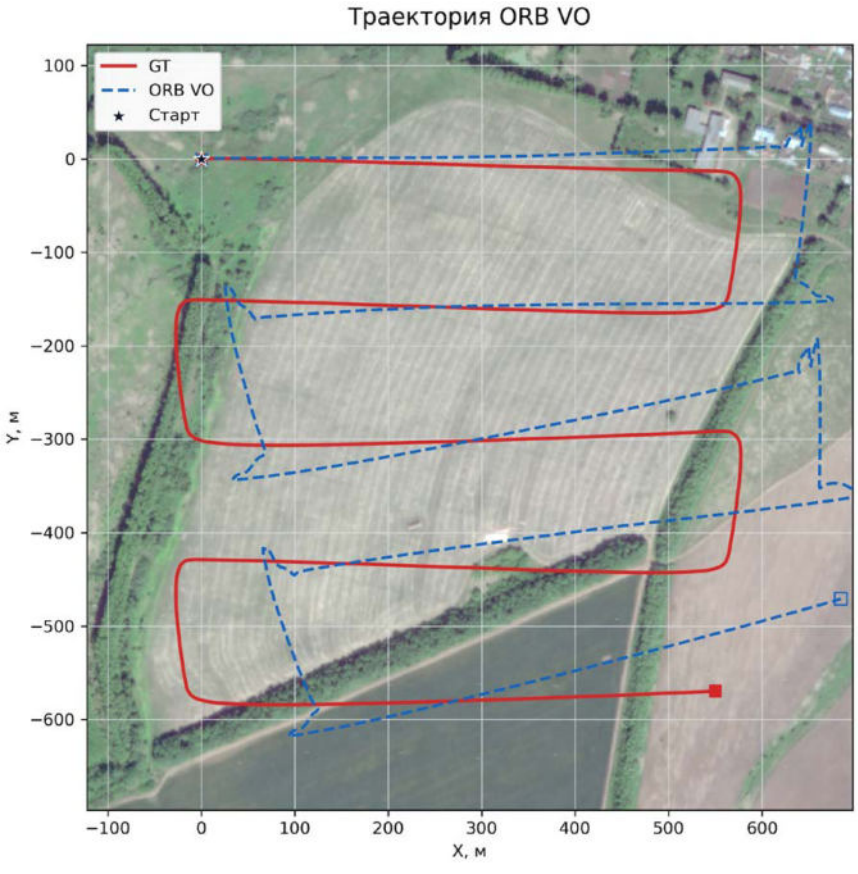


Рис. 2. Сравнение траектории ORB VO с эталонной траекторией GT

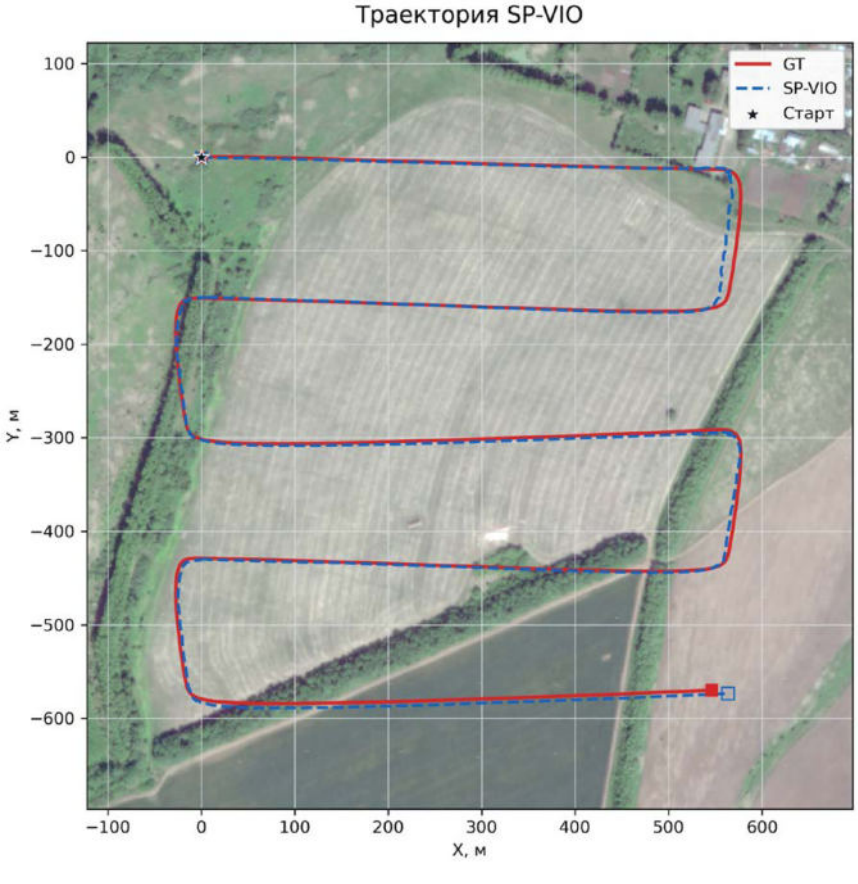


Рис. 3. Сравнение траектории SP-VIO с эталонной траекторией GT

Различие не следует трактовать как чистый эффект добавления IMU непосредственно к реализованному ORB: SP-VIO имеет собственную архитектуру фильтрации данных и оценки состояния. Однако эксперимент показывает, что использование полноценной визуально-инерциальной одометрии существенно повышает устойчивость полета БПЛА на длинном маршруте аэрофотосъёмки.

Построение ортофотоплана и сельскохозяйственное применение

Конечным картографическим результатом полёта является построение ортофотоплана поля для дальнейшего анализа посевов и состояния угодий. После завершения полёта отобранные перекрывающиеся изображения передаются в WebODM [6]. Фотограмметрический конвейер восстанавливает взаимное положение камер, строит модель поверхности, выполняет орторектификацию и объединяет изображения [7]. По кадрам исследуемого полёта был получен ортофотоплан, приведённый на рис. 4.

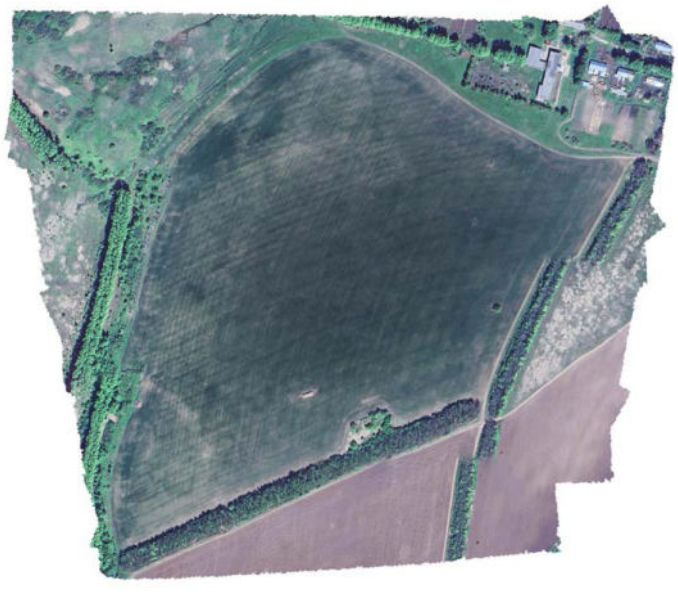


Рис. 4. Ортофотоплан исследуемой территории, построенный по кадрам полёта

Регулярное повторение так полетных заданий позволяет получать ортофотопланы одного поля в разные промежутки времени. В зависимости от используемого оптического канала полученный ортофотоплан может содержать данные видимого или инфракрасного диапазона. По изображениям видимого диапазона можно анализировать равномерность посевов, пропуски, растительный покров и распространение сорной растительности. Инфракрасные данные могут использоваться для получения дополнительной информации о состоянии растительности и поверхности.

Успешное построение ортофотоплана само по себе не доказывает точность навигации, поскольку фотограмметрический алгоритм дополнительно оптимизирует взаимные положения камер. Поэтому качество одометрии в работе оценивается отдельно по эталонной траектории.

Заключение

В работе рассмотрена схема регулярного картографирования сельскохозяйственного поля, включающая планирование маршрута аэрофотосъемки, локальную автономную навигацию БПЛА на основе визуальной или визуально-инерциальной одометрии, запись перекрывающихся кадров и последующее построение ортофотоплана. Такой подход позволяет уменьшить зависимость навигационного контура от ГНСС и не требует RTK-поправок.

Экспериментальная оценка на записанной полётной последовательности показала более высокую устойчивость визуально-инерциальной одометрии на протяжённом маршруте.

По результатам автономного полета БПЛА для аэрофотосъемки и последующей фотограмметрической обработки построен ортофотоплан поля. Предложенный подход позволяет строить последовательный конвейер получения ортофотопланов для регулярного мониторинга сельскохозяйственных угодий даже в случае помех или отсутствия сигнала ГНСС.

Список литературы

1. A Survey on UAV Control with Multi-Agent Reinforcement Learning / C. C. Ekechi, T. Elfouly, A. Alouani, T. Khattab // Drones. – 2025. – Vol. 9, № 7. – Art. 484. – DOI 10.3390/drones9070484.

2. Atik, M. E. Comparative Assessment of the Effect of Positioning Techniques and Ground Control Point Distribution Models on the Accuracy of UAV-Based Photogrammetric Production / M. E. Atik, M. Arkali // Drones. – 2025. – Vol. 9, № 1. – Art. 15. – DOI 10.3390/drones9010015.

3. Scaramuzza, D. Visual Odometry [Tutorial] / D. Scaramuzza, F. Fraundorfer // IEEE Robotics & Automation Magazine. – 2011. – Vol. 18, № 4. – P. 80–92. – DOI 10.1109/MRA.2011.943233.

4. ORB: An Efficient Alternative to SIFT or SURF / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski // 2011 International Conference on Computer Vision. – 2011. – P. 2564–2571. – DOI 10.1109/ICCV.2011.6126544.

5. SPVIO: Pose-Only Visual Inertial Odometry With State Transformation and Visual-Deprived Correction / X. Du, L. Zhang, C. Ji [et al.] // IEEE Internet of Things Journal. – 2025. – Vol. 12, № 23. – P. 49644–49663. – DOI 10.1109/JIOT.2025.3603436.

6. WebODM : drone mapping software : официальный сайт. – URL: https://webodm.org/ (дата обращения: 30.08.2026). – Текст : электронный.

7. Nex, F. UAV for 3D Mapping Applications: A Review / F. Nex, F. Remondino // Applied Geomatics. – 2014. – Vol. 6, № 1. – P. 1–15. – DOI 10.1007/s12518-013-0120-x.

УДК 004.93:636

РАЗРАБОТКА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ С БПЛА НА БАЗЕ ДОСТУПНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ ROCKCHIP RK3588

Мирзагитов Р.Р., магистрант;
ORCID: 0009-0008-0694-7285;
E-mail: mirzagitov03@mail.ru;
Абдуллин А.И., к.ф-м.н., доцент кафедры анализа данных и технологий программирования Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-8256-9553

DEVELOPMENT OF AN ONBOARD UAV LIVESTOCK MONITORING SYSTEM BASED ON AN AFFORDABLE ROCKCHIP RK3588 COMPUTING PLATFORM

Mirzagitov R.R., master's student;
ORCID: 0009-0008-0694-7285;
E-mail: mirzagitov03@mail.ru;
Abdullin A.I., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Data Analysis and Programming Technologies, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-8256-9553

Аннотация

Использование беспилотных летательных аппаратов в агросекторе позволяет автоматизировать процессы мониторинга поголовья сельскохозяйственных животных на больших пастбищах, быстро обследовать территорию выпаса, выявлять нарушения на сельскохозяйственных угодьях и пастбищах. Современные алгоритмы детекции на основе нейронных сетей требуют значительных вычислительных ресурсов, а бортовые вычислители имеют ограничения по энергопотреблению и производительности. Это вынуждает либо упрощать алгоритмы (в ущерб точности), либо применять специализированные ускорители (GPU, FPGA), что удорожает систему. Цель работы заключается в создание бюджетного аппаратно-программного комплекса визуального мониторинга сельскохозяйственных животных в рамках технологии Edge AI, способного обрабатывать и анализировать изображения пастбищ непосредственно на борту с помощью нейронных сетей.

Разработана методика сбора и разметки обучающих данных, обучения и адаптации архитектуры нейронных сетей для бортового нейропроцессора. Экспериментальная проверка выполнена на задаче обнаружения овец. Для выбора подходящей архитектуры исследованы пять нейросетевых детекторов, адаптированных к работе на бортовом вычислителе на основе Rockchip RK3588. Лучший исходный результат по метрике mAP@0.5:0.95 составил 0,6054, однако у наиболее быстрой модели после INT8-квантизации (44 кадр/с) показатель mAP@0.5:0.95 0,5792, т.е. снижение точности менее 1%. Полученной производительности достаточно для обработки видеопотока в реальном времени на выбранной бортовой платформе. Предлагаемый подход создает основу для дальнейшего автоматического подсчета и контроля пространственного распределения поголовья на территории хозяйства.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мониторинг поголовья, сельскохозяйственные животные, детекция объектов, бортовая обработка, одноплатный компьютер, компьютерное зрение, RK3588, NPU, нейропроцессор

Abstract

The use of unmanned aerial vehicles in agriculture makes it possible to automate livestock monitoring over large pastures, rapidly survey grazing areas, and identify irregularities on agricultural land and pastures. Modern neural-network-based detection algorithms require substantial computational resources, while onboard computing platforms are constrained by power consumption and performance. This often requires either simplifying the algorithms, with a corresponding loss of accuracy, or using specialized accelerators such as GPUs and FPGAs, which increases the overall system cost. The aim of this study is to develop a low-cost hardware and software system for visual livestock monitoring within the Edge AI paradigm, capable of processing and analyzing pasture imagery directly onboard using neural networks.

A methodology for collecting and annotating training data, training neural networks, and adapting their architectures for an onboard neural processing unit was developed. Experimental validation was carried out on the task of sheep detection. Five neural-network-based detectors adapted for execution on the Rockchip RK3588 were investigated in order to select a suitable architecture. Detection quality was evaluated using mean Average Precision (mAP@0.5:0.95), while performance was measured by the number of processed frames per second. The best baseline result was 0.6054, whereas the fastest model after INT8 quantization retained mAP@0.5:0.95 = 0.5792 with a decrease of less than 1% and achieved 44.23 frames per second. This performance is sufficient for real-time video processing on the selected onboard platform. The proposed approach provides a basis for further automated livestock counting and monitoring of the spatial distribution of animals across the farm area.

Keywords: unmanned aerial vehicle, livestock monitoring, farm animals, object detection, onboard processing, single-board computer, computer vision, RK3588, neural processing unit

Введение

Контроль численности и распределения животных по территории является практической задачей животноводческих хозяйств, особенно при пастбищном содержании. Ручной осмотр больших площадей требует времени и постоянного участия персонала. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) позволяет за один вылет получать изображения значительной территории и использовать их для автоматического обнаружения животных. В работе [1] рассматривается возможность применения нейронных сетей для обнаружения и подсчета овец на изображениях с БПЛА, авторы работы [2] по результатам сравнительного исследования детекторов на SheepCounter делают выводы о перспективности автоматизации такого мониторинга.

Передача полного видеопотока на землю требует устойчивого канала связи, а установка производительного графического ускорителя на БПЛА увеличивает требования к стоимости, массе и энергопотреблению бортовой аппаратуры. Для практического применения в хозяйстве одним из подходов снижения затрат является использование недорогих и доступных бортовых вычислителей с нейропроцессором в рамках технологии Edge AI – обработка непосредственно на борту. В данной работе рассматривается задача автоматизации мониторинга пастбищ и сельхозугодий с применением нейросетевых моделей детекции, обученных на изображениях животных, снятых с бортовой камеры БПЛА преимущественно в надир. В качестве вычислителя выбран доступный одноплатный компьютер Orange Pi 5B на базе Rockchip RK3588 со встроенным нейропроцессором NPU, предназначенным для ускоренного выполнения нейронных сетей.

Цель работы – разработать и исследовать вычислительную часть бортовой системы визуального мониторинга сельскохозяйственных животных, способную работать в реальном времени на доступной платформе Rockchip RK3588. Для этого проводится обучение специализированных архитектур нейронных сетей для детекции (в работе исследуются три архитектуры – YOLO26, RF-DETR и RT-DETRv4), проводится адаптация к встроенному в бортовой вычислитель NPU, экспериментально определяется допустимая разрядность вычислений и скорость на физическом устройстве.

Методика

Для экспериментальной проверки выбран открытый набор данных Aerial Sheep проекта RIIS [3], содержащий изображения овец, снятые с БПЛА. Использованная версия v1 содержит 4133 изображения: 3609 относятся к обучающей части, 350 – к валидационной и 174 – к тестовой. В тестовой части имеется 5603 размеченных животных, в валидационной – 11337. Перед подачей в нейросеть изображения приводились к размеру 640×640.

Примеры изображений и разметки приведены на рис. 1.



Рис. 1. Примеры изображений набора Aerial Sheep с разметкой объектов

За базовое решение была взята модель YOLO26, которая представляет семейство детекторов реального времени [4]. Для оценки точности и производительности на NPU были исследованы две конфигурации YOLO26 – Nano и Small. Обученная YOLO26n содержит 2,375 млн параметров и 5,3 GFLOPs, YOLO26s – 9,466 млн параметров и 20,8 GFLOPs. Для обучения обеих моделей использовалась техника fine-tuning с предварительно обученными весами на MSCOCO, вход 640×640, автоматический смешанный формат вычислений при обучении, стандартные аугментации; максимальное число эпох составляло 100 с ранней остановкой.

Второе семейство – RF-DETR, детектор реального времени на основе архитектуры Detection Transformer с визуальным трансформером DINOv2 в качестве энкодера [5]. Исследованы варианты Nano и Small. Для адаптации к NPU билинейная выборка в механизме деформируемого перекрёстного внимания (cross-attention) была заменена дискретным индексированием, после чего модели были повторно обучены.

Третья исследуемая архитектура – RT-DETRv4 с базовой сетью HGNetV2 и декодером D-FINE. При обучении используется дистилляция признаков из предобученной модели [6]. Для обеспечения совместимости с NPU механизм перекрёстного внимания также был переведён в дискретный режим с последующим переобучением модели.

Подготовка нейросетей к работе на бортовом вычислителе

Для запуска на Orange Pi 5B обученные нейросети последовательно преобразовывались из PyTorch в универсальный формат Open Neural Network Exchange (ONNX), а затем в формат Rockchip Neural Network (RKNN), предназначенный для NPU Rockchip. Основная нейросетевая часть выполняется на NPU, а окончательное преобразование выходов модели в координаты обнаруженных животных выполняется центральным процессором. Для YOLO на этом этапе также удаляются дублирующиеся рамки вокруг одного объекта.

Преобразование выполнялось RKNN-Toolkit2 версии 2.3.2 для RK3588 [7]. Для уменьшения вычислительной нагрузки применялась квантизация PTQ (Post-Training Quantization) – снижение разрядности уже обученной нейронной сети без ее полного повторного обучения. Проведены несколько вариантов квантизации: 16-разрядный формат с плавающей точкой FP16, 8-разрядный целочисленный формат INT8 и смешанный вариант INT8/FP16. Квантизация снижает разрядность весов и активаций и может уменьшать объем памяти и стоимость вычислений, однако одновременно вносит квантизационный шум и способна ухудшать точность сети [8, 9].

В исходных версиях RF-DETR и RT-DETRv4 при экспорте использовалась операция GridSample, которая не поддерживается для выполнения на NPU в используемой версии RKNN-Toolkit2. Для устранения этого ограничения билинейная выборка признаков была заменена дискретным индексированием карт признаков. Это позволило исключить GridSample из ONNX-графа и выполнить преобразование моделей в формат RKNN. При этом совместимость с NPU не гарантирует устойчивость модели к INT8-квантизации, поэтому влияние квантизации оценивалось отдельно.

Оценка качества и скорости работы

Качество всех вариантов оценивалось на одной тестовой выборке по стандартной методике COCO. Для интерпретации результатов используются метрики Precision и Recall. Precision показывает, какая доля всех выданных моделью обнаружений действительно соответствует животным, а Recall – какую долю всех размеченных животных модель смогла найти. Совпадение предсказанной и эталонной ограничивающих рамок оценивается коэффициентом Intersection over Union (IoU), равным отношению площади их пересечения к площади объединения.

Качество всех вариантов оценивалось на одной тестовой выборке по стандартной методике COCO. Для интерпретации результатов используются метрики Precision и Recall. Precision показывает, какая доля всех выданных моделью обнаружений действительно соответствует животным, а Recall – какую долю всех размеченных животных модель смогла най-

ти. Совпадение предсказанной и эталонной ограничивающих рамок оценивается коэффициентом Intersection over Union (IoU), равным отношению площади их пересечения к площади объединения. Основным показателем для сравнения моделей использовалась mAP@0.5:0.95 – среднее значение AP для порогов IoU от 0,5 до 0,95 с шагом 0,05. Отдельно фиксировались mAP@0.5, mAP@0.75, AP_small и AP_medium. Эти значения нужны, чтобы увидеть не только общий результат, но и изменения при более строгом совпадении рамок и на небольших объектах, которыми овцы часто являются на аэроснимках.

Производительность проверялась непосредственно на Orange Pi 5B с RK3588. Для каждого кадра учитывались подготовка входного изображения, выполнение нейросети на NPU и обработка выходов до получения конечных рамок; загрузка модели и чтение изображения с накопителя в это время не входили. Качество RKNN-моделей при этом проверялось в симуляторе RKNN-Toolkit2.

В табл. 1 собраны результаты пяти исходных ONNX-моделей на одной и той же тестовой выборке.

Таблица 1

Качество моделей-кандидатов до переноса на бортовую платформу

Модель	mAP@0.5:0.95	mAP@0.5	mAP@0.75	AP_small	AP_medium
YOLO26n	0,5835	0,9663	0,6478	0,5842	0,5939
YOLO26s	0,5940	0,9666	0,6724	0,5956	0,5987
RF-DETR Nano discrete	0,5558	0,9536	0,5971	0,5523	0,5832
RF-DETR Small discrete	0,5576	0,9536	0,6025	0,5524	0,5963
RT-DETRv4 HGNetV2-S discrete	0,6054	0,9747	0,6933	0,6028	0,6201

Выбор нейросети для бортовой системы

На первом этапе определялось, насколько сильно различается качество моделей-кандидатов до переноса на бортовой вычислитель. Лучший результат показала RT-DETRv4 с mAP@0.5:0.95=0,6054 (табл.1.) на 0,022 больше базового решения YOLO26s. Однако окончательный выбор модели осуществлялся по соотношению “качество/производительность” и требовал учета производительности на реальном устройстве.

После преобразования моделей в RKNN сравнивалось, как меняется mAP@0.5:0.95 в разных режимах вычислений. Все значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние оптимизации для RK3588 на качество детекции

Модель	ONNX	RKNN FP16	RKNN INT8	RKNN hybrid
YOLO26n	0,5835	0,5834 (−0,01%)	0,5792 (−0,74%)	0,5784 (−0,87%)
YOLO26s	0,5940	0,5944 (+0,06%)	0,5744 (−3,30%)	0,5745 (−3,28%)
RF-DETR Nano	0,5558	0,5534 (−0,43%)	0,3147 (−43,38%)	0,4644 (−16,43%)
RF-DETR Small	0,5576	0,5560 (−0,29%)	0,3096 (−44,48%)	0,4779 (−14,29%)
RT-DETRv4	0,6054	0,5978 (−1,26%)	0,0000 (−100%)	0,5972 (−1,36%)

YOLO26n и YOLO26s перенесли полную INT8-квантизацию заметно лучше трансформерных моделей. Для YOLO26n mAP@0.5:0.95 изменился с 0,5835 до 0,5792, то есть на 0,74%; для YOLO26s снижение составило 3,3%. У YOLO26n значение mAP@0.5 осталось почти на исходном уровне, тогда как mAP@0.75 уменьшился сильнее. Это указывает на то, что после INT8 в большей степени изменилась точность положения рамки, а не сам факт обнаружения объекта.

RF-DETR оказался значительно чувствительнее. mAP@0.5:0.95 у Nano снизился с 0,5558 до 0,3147, а у Small версии – с 0,5576 до 0,3096. Особенно выражено ухудшение mAP@0.75: для Nano показатель снизился с 0,5971 до 0,1466, для Small – с 0,6025 до 0,1408. Смешанная точность вернула часть качества, однако разница с исходной моделью все равно составила 16,43% для Nano и 14,29% для Small. Замена GridSample, таким образом, решила проблему запуска графа на NPU, но не устранила чувствительность RF-DETR к INT8-квантизации.

Для RT-DETRv4 полная INT8-квантизация оказалась непригодной: значение mAP@0.5:0.95 на тестовой выборке снизилось до 0. Гибридный режим восстановил mAP@0.5:0.95 до 0,5972, mAP@0.5 до 0,9727 и AP_small до 0,5965. Это показывает, что смешанная точность для данной архитектуры является необходимым условием сохранения функциональности после преобразования в RKNN, а не только способом незначительно повысить точность.

Проверка работы системы на Orange Pi 5B / RK3588

Окончательный выбор модели выполнялся по результатам испытаний непосредственно на Orange Pi 5B с Rockchip RK3588. Все варианты обрабатывали те же 174 тестовых изображения по одному кадру после пяти прогревочных запусков с использованием трех ядер NPU. В измерения не включались загрузка модели и чтение изображения с накопителя. Отдельно измерялось время работы нейросети на NPU и полный цикл обработки кадра, включающий подготовку изображения и получение конечных рамок обнаруженных животных. В табл. 3 приведены варианты, представляющие практический интерес для бортового применения.

Таблица 3

Производительность выбранных вариантов на Orange Pi 5 / RK3588

Модель / backend	Подготовка, мс	NPU, мс	Обработка выхода, мс	Полный цикл, мс	Скорость, кадр/с
YOLO26n INT8	3,554	17,564	1,489	22,607	44,23
YOLO26s INT8	6,993	36,906	4,731	48,630	20,56
RF-DETR Nano hybrid	3,716	580,262	0,217	584,195	1,71
RF-DETR Small hybrid	3,356	620,194	0,226	623,775	1,60
RT-DETRv4 hybrid	2,627	899,453	0,302	902,382	1,11

Примеры результатов детекции выбранной конфигурацией YOLO26n INT8 на тестовых изображениях приведены на рис. 2.

Испытания на физическом устройстве показали принципиальное различие между моделями. YOLO26n INT8 обрабатывает 44,23 кадр/с полным циклом, то есть пригодна для анализа видеопотока в реальном времени. Переход с FP16 на INT8 увеличил ее скорость почти в два раза при потере mAP@0.5:0.95 менее 1%. YOLO26s INT8 обеспечивает 20,56 кадр/с.

RF-DETR Nano и Small даже в наиболее выгодном смешанном режиме работают со скоростью 1,71 и 1,60 кадр/с. RT-DETRv4 сохраняет наивысшее качество среди пригодных RKNN-вариантов – mAP@0.5:0.95=0,5972, однако ее скорость составляет только 1,11 кадр/с. Следовательно, небольшое преимущество по точности не компенсирует многократное снижение производительности на используемом вычислителе.

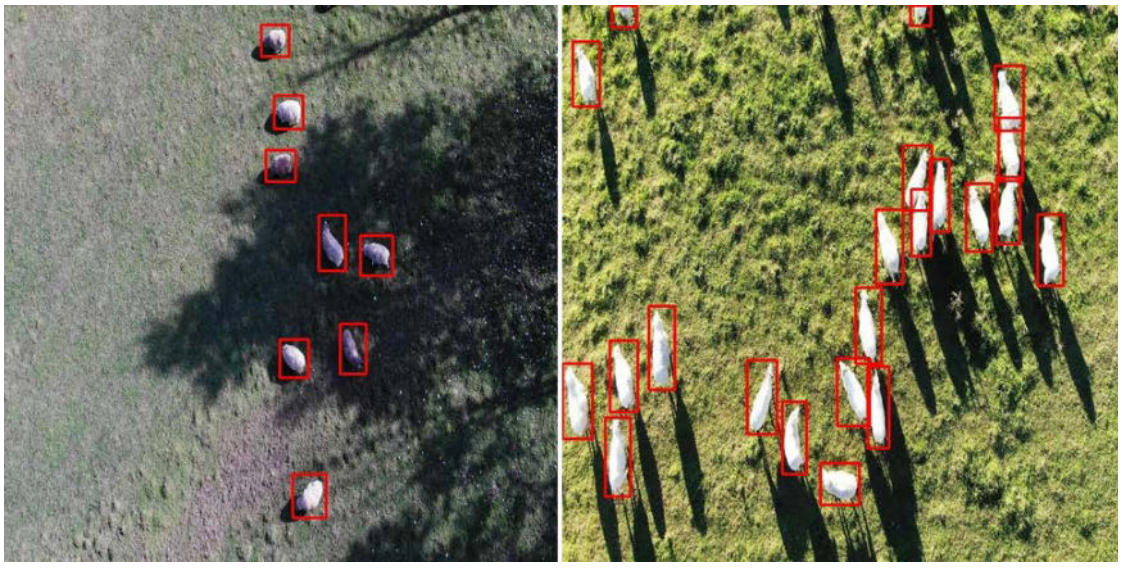


Рис. 2. Примеры обнаружения овец моделью YOLO26n INT8
на изображениях с БПЛА

Заключение

Разработана и исследована вычислительная часть бортовой системы визуального мониторинга сельскохозяйственных животных с БПЛА на доступной платформе Orange Pi 5B / Rockchip RK3588. Экспериментальная проверка выполнена на задаче обнаружения овец. Проведено обучение нейросетевых моделей семейства RF-DETR, RT-DETR(версия 4) и YOLO26., проведена их адаптация для работы на нейромодуле NPU Rokchip RK3588. Для трансформерных моделей дополнительно была изменена операция деформируемого внимания, что позволило сформировать исполняемые RKNN-графы для NPU.

По результатам экспериментов YOLO26n после квантизации в INT8 показала снижение точности на 0,74% ниже исходного результата, что является лучшим результатом среди всех тестируемых нейросетей. Остальные более сложные модели потребовали смешанной точности INT8/FP16, а их выигрыш по качеству оказался недостаточным для компенсации низкой скорости на RK3588. Испытания на Orange Pi 5B показали, что YOLO26n INT8 обеспечивает 44 кадр/с при mAP@0.5:0.95=0,58 и является наиболее рациональным вариантом для обработки изображений непосредственно на борту БПЛА. Полученной производительности достаточно для работы с видеопотоком без привлечения мощного графического ускорителя. Система может быть далее дополнена привязкой обнаруженных животных к геокоординатам пастбища, межкадровым отслеживанием и подсчетом поголовья.

Список литературы

1. Sarwar, F. Detecting sheep in UAV images / F. Sarwar, A. Griffin, S. U. Rehman, T. Pasang. – DOI 10.1016/j.compag.2021.106219. – Текст : электронный // Computers and Electronics in Agriculture. – 2021. – Vol. 187. – Article 106219.

2. Doll, O. Comparison of Object Detection Algorithms for Livestock Monitoring of Sheep in UAV Images / O. Doll, A. Loos. – DOI 10.24406/publica-2164. – Текст : электронный // 3rd International Workshop «Camera Traps, AI, and Ecology». – Jena, 2023.

3. Aerial Sheep Dataset / RIIS. – Текст : электронный // Roboflow Universe. – 2022. – URL: https://universe.roboflow.com/riis/aerial-sheep (дата обращения: 28.08.2026).

4. Jocher, G. Ultralytics YOLO26: Unified Real-Time End-to-End Vision Models / G. Jocher, J. Qiu, M. Liu [et al.]. – DOI 10.48550/arXiv.2606.03748. – Текст : электронный // arXiv. – 2026. – arXiv:2606.03748.

5. Robinson, I. RF-DETR: Neural Architecture Search for Real-Time Detection Transformers / I. Robinson, P. Robicheaux, M. Popov [et al.]. – Текст : электронный // International Conference on Learning Representations (ICLR). – 2026. – arXiv:2511.09554.

6. Liao, Z. RT-DETRv4: Painlessly Furthering Real-Time Object Detection with Vision Foundation Models / Z. Liao, Y. Zhao, X. Shan [et al.]. – Текст : электронный // arXiv. – 2025. – arXiv:2510.25257.

7. RKNN-Toolkit2: Model Conversion and Deployment Toolkit for Rockchip NPU / Rockchip. – Version 2.3.2. – Текст : электронный // GitHub. – URL: https://github.com/airockchip/rknn-toolkit2 (дата обращения: 28.08.2026).

8. Nagel, M. A White Paper on Neural Network Quantization / M. Nagel, M. Fournarakis, R. A. Amjad [et al.]. – Текст : электронный // arXiv. – 2021. – arXiv:2106.08295.

9. Jacob, B. Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference / B. Jacob, S. Kligys, B. Chen [et al.]. – DOI 10.1109/CVPR.2018.00286. – Текст : электронный // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2018. – P. 2704–2713.

УДК 528.8.04

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВЯНЫХ АГРОЦЕНОЗОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ (НА ПРИМЕРЕ ЛАИШЕВСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Мустафин И.А., студент;
Трофимов Н.В., научный руководитель, к.с-х.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

MONITORING THE CONDITION OF PERENNIAL GRASS AGROCENOSES USING SATELLITE IMAGERY DATA (ON THE EXAMPLE OF THE LAISHEVSKY MUNICIPAL DISTRICT OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN)

Mustafin I.A., Student;
Trofimov N.V., Academic Supervisor, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor at Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Аннотация

В статье обоснован методический подход к мониторингу состояния многолетних травяных агроценозов по данным спутниковой съемки Sentinel-2 на примере Лаишевского муниципального района Республики Татарстан. Актуальность работы определяется необходимостью оперативной оценки кормовых угодий, раннего выявления разреженных и деградирующих участков травостоя, а также перехода к адресному проведению агротехнических мероприятий. Объектом исследования выступают полевые контуры многолетних трав, используемых в системе кормопроизводства района. В качестве информационной основы предложено исполь-

зовать мультиспектральные снимки Sentinel-2 MSI уровня Level-2A за вегетационный период. Методика включает подбор безоблачных сцен, маскирование облаков и теней, расчет индексов NDVI, EVI, NDRE и MSAVI, нормирование значений и классификацию участков по состоянию растительного покрова. Показано, что наиболее информативным периодом для оценки общего состояния травостоя является фаза интенсивного накопления биомассы в июне-июле, когда различия между полевыми контурами и внутриполевыми зонами проявляются наиболее устойчиво. Совместная интерпретация нескольких индексов позволяет разделять участки с высоким, удовлетворительным, ослабленным и деградирующим состоянием. NDVI отражает общий уровень зеленой массы, NDRE уточняет физиологическое состояние развитого травостоя, EVI снижает эффект насыщения, а MSAVI позволяет учитывать влияние открытой почвы на разреженных участках. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения спутникового мониторинга для планирования наземных обследований, подкормок, подсева, регулирования сроков укоса и оценки восстановления травостоя после использования. Предложенный подход не заменяет полевые наблюдения, однако повышает их адресность и снижает затраты на регулярный контроль больших площадей.

Ключевые слова: многолетние травы, агроценоз, дистанционное зондирование Земли, Sentinel-2, NDVI, NDRE, MSAVI, кормовые угодья, Лаишевский район, мониторинг

Abstract

The article substantiates a methodological approach to monitoring the state of perennial grass agrocenoses based on Sentinel-2 satellite imagery, using the Laishevsky municipal district of the Republic of Tatarstan taken as a case study. The relevance of the research is determined by the need for rapid assessment of forage lands, early detection of sparse and degrading areas of grass stands, and transition to targeted agrotechnical measures. The object of the study is represented by field contours of perennial grasses used in the district`s forage production system. It is proposed to use multispectral images of Sentinel-2 MSI Level-2A for the growing season as an information basis. The methodology includes the selection of cloud-free scenes, clouds and shadows masking, calculation of NDVI, EVI, NDRE and MSAVI vegetation indices, normalization of values and classification of areas by vegetation cover condition. It has been shown that the most informative period for assessing the overall state of grass stands is the phase of intensive biomass accumulation in June-July, when differences between fields parcels and within-field zones are most most consistently manifested. Combined interpretation of several indices makes it possible to distinguish areas with high, satisfactory, weakened and degrading conditions. NDVI reflects the overall green biomass level, NDRE clarifies the physiological state of a developed grass stand, EVI reduces the saturation effects, and MSAVI allows accounting for the influence of bare soil on sparse stands. The practical significance of the study lies in the possibility of using satellite monitoring for planning field surveys, fertilizing, overseeding, adjusting mowing dates and assessing grass stand recovery after use. The proposed approach does not replace field observations, but increases their targeting and reduces the cost of regular monitoring over large areas.

Keywords: perennial grasses, agrocenosis, remote sensing of the Earth, Sentinel-2, NDVI, NDRE, MSAVI, forage lands, Laishevsky district, monitoring

Введение

Многолетние травяные агроценозы являются важной частью кормовой базы и одновременно выполняют почвозащитные функции. Они обеспечивают получение зеленой массы, сена и сенажа, способствуют накоплению органического вещества и повышают устойчивость агроландшафтов. Для лесостепной зоны Среднего Поволжья регулярный контроль состояния многолетних трав особенно важен, поскольку продуктивность травостоя быстро реагирует на дефицит влаги, неравномерное питание, переуплотнение почвы, засоренность и нарушение сроков использования.

Лаишевский муниципальный район Республики Татарстан относится к территориям с развитым сельскохозяйственным землепользованием. По справочным данным, сельскохозяйственные угодья района занимают около 71,2 тыс. га, в том числе пашня – около 56 тыс. га [1]. В структуре земледелия Республики Татарстан значительная часть пашни используется под кормовые культуры, включая многолетние травы [2]. Поэтому для района актуальна не только общая оценка продуктивности, но и выявление внутриполевой неоднородности, определяющей потребность в локальных агротехнических мероприятиях.

Данные дистанционного зондирования Земли позволяют проводить такую оценку регулярно и на больших площадях. Спутники Sentinel-2 оснащены мультиспектральным прибором MSI, регистрирующим отражение поверхности в 13 спектральных каналах с пространственным разрешением 10, 20 и 60 м [3, 4]. Наличие красного, ближнего инфракрасного и red-edge каналов делает эти данные пригодными для расчета вегетационных индексов. Цель исследования – разработать подход к оценке состояния многолетних трав Лаишевского района по данным Sentinel-2 и показать возможности его практического применения.

Материалы и методы

Объектом исследования приняты многолетние травяные агроценозы в пределах Лаишевского района. В качестве модельных участков рассматриваются полевые контуры бобово-злаковых травостоев, используемых для производства сена, сенажа и зеленого корма. Район расположен в пригородной зоне Казани, где сельскохозяйственные угодья сочетаются с населенными пунктами, дорогами и водными объектами, что повышает требования к точности пространственного анализа.

Информационной основой мониторинга служат снимки Sentinel-2 MSI уровня Level-2A, содержащие данные поверхностной отражательной способности после атмосферной коррекции. Для анализа отбираются безоблачные сцены за май-сентябрь. Предварительная обработка включает маскирование облаков, теней и водных объектов, обрезку по границам полей, расчет индексов и классификацию участков по состоянию растительного покрова. Общая схема обработки показана на рис. 1.

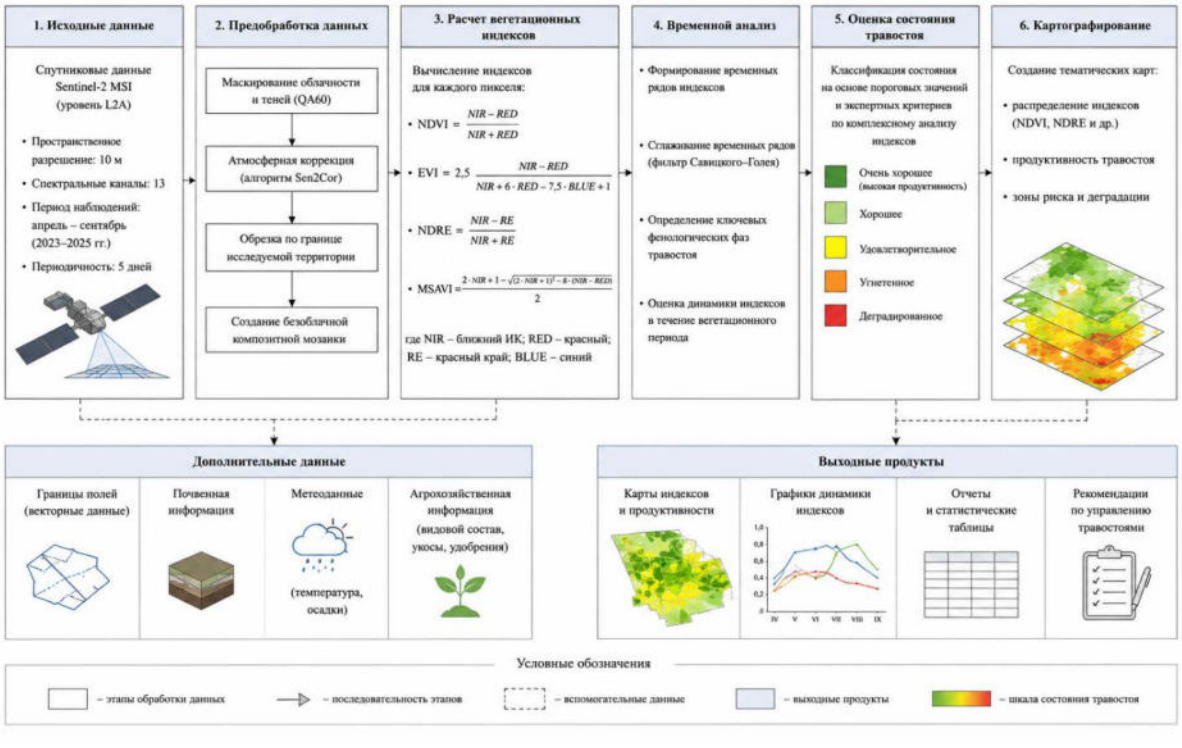


Рис. 1. Методическая схема спутникового мониторинга многолетних травяных агроценозов

Для оценки состояния травостоя использованы индексы NDVI, EVI, NDRE и MSAVI. NDVI является базовым показателем зеленой биомассы [5]. EVI применяется для развитой растительности и снижает эффект насыщения [6]. NDRE учитывает red-edge область и чувствителен к содержанию хлорофилла [7]. MSAVI уменьшает влияние открытой почвы, что важно на разреженных участках и после укоса [8].

Таблица 1

Вегетационные индексы, используемые в исследовании

Индекс	Формула	Назначение	Особенность применения
NDVI	(NIR−Red)/(NIR+Red)	Зеленая биомасса	Может насыщаться при плотном травостое
EVI	2,5×(NIR−Red)/(NIR+6Red−7,5Blue+1)	Развитая растительность	Требует корректного синего канала
NDRE	(NIR−RedEdge)/(NIR+RedEdge)	Хлорофилл	Информативен в июне-июле
MSAVI	$(2NIR+1-\sqrt{((2NIR+1)^2-8(NIR-Red))})/2$	Разреженный покров	Снижает влияние почвы

Таблица 2

Шкала интерпретации состояния многолетних трав

Класс	NDVI	NDRE	Интерпретация
Высокое	0,70–0,85	0,32–0,45	Плотный продуктивный травостой
Удовлетворительное	0,55–0,69	0,23–0,31	Нормальное развитие, умеренная неоднородность
Ослабленное	0,40–0,54	0,14–0,22	Разреженность, дефицит влаги или питания
Деградирующее	<0,40	<0,14	Выпадение травостоя, засоренность, повреждение

Результаты и обсуждение

Расположение района исследования показано на рис. 2. Пригородное положение Лаишевского района усиливает значение мониторинга, поскольку кормовые угодья испытывают влияние как природных, так и хозяйственных факторов. Спутниковая съемка позволяет получать сопоставимые данные по всей территории и выявлять участки, где состояние травостоя отличается от среднего уровня поля.

Сезонная динамика индексов показывает, что в мае значения NDVI и MSAVI находятся на среднем уровне из-за неполного смыкания травостоя и влияния почвенного фона. В июне-июле индексы достигают максимума: NDVI повышается до 0,70–0,76, EVI – до 0,52–0,58, NDRE – до 0,34–0,40. Этот период является наиболее надежным для оценки продуктивности и выделения зон с высоким или удовлетворительным состоянием. В августе и сентябре снижение индексов может быть связано как с укосом, так и с естественным старением травостоя, поэтому интерпретацию необходимо сопоставлять с календарем агротехнических работ.



Рис. 2. Схема расположения Лаишевского муниципального района Республики Татарстан

Динамика индексов представлена на рис. 3. Использование одного NDVI дает общую картину состояния, но не всегда позволяет различать причины снижения. При плотном травостое NDVI приближается к насыщению, тогда как NDRE лучше отражает физиологическое состояние растений. MSAVI помогает уточнять оценку на разреженных участках, где значительную роль играет отражение почвы. Поэтому совместное применение индексов повышает устойчивость классификации.

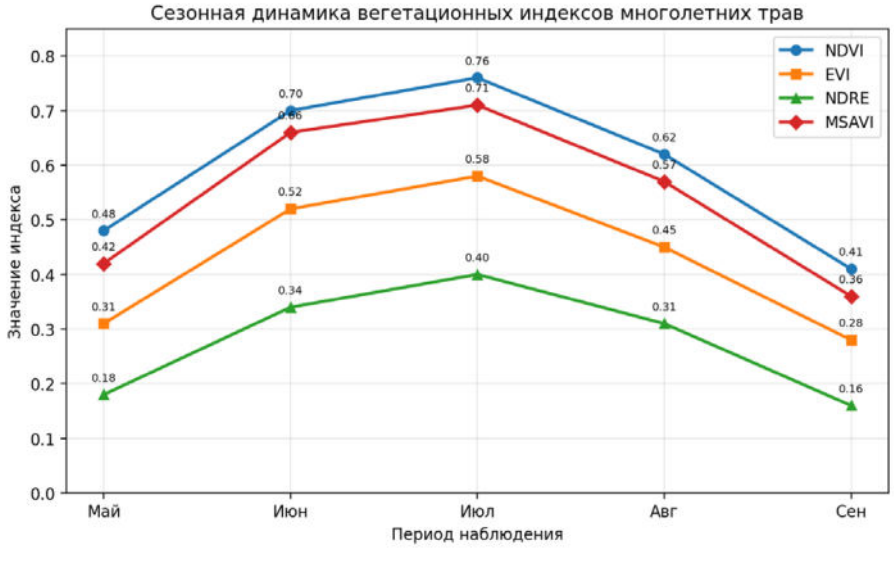


Рис. 3. Сезонная динамика вегетационных индексов многолетних трав

По результатам демонстрационной классификации наибольшую долю занимают участки с удовлетворительным состоянием – 42,6%. Зоны высокого состояния составляют 34,8% и характеризуются устойчивыми значениями NDVI выше 0,70 и повышенными значениями NDRE. Ослабленные участки занимают 17,9%, а деградирующие – 4,7%. Последние требуют первоочередного наземного обследования, поскольку снижение индексов может быть связано с выпадением травостоя, засоренностью, переуплотнением, переувлажнением или нарушением режима использования.

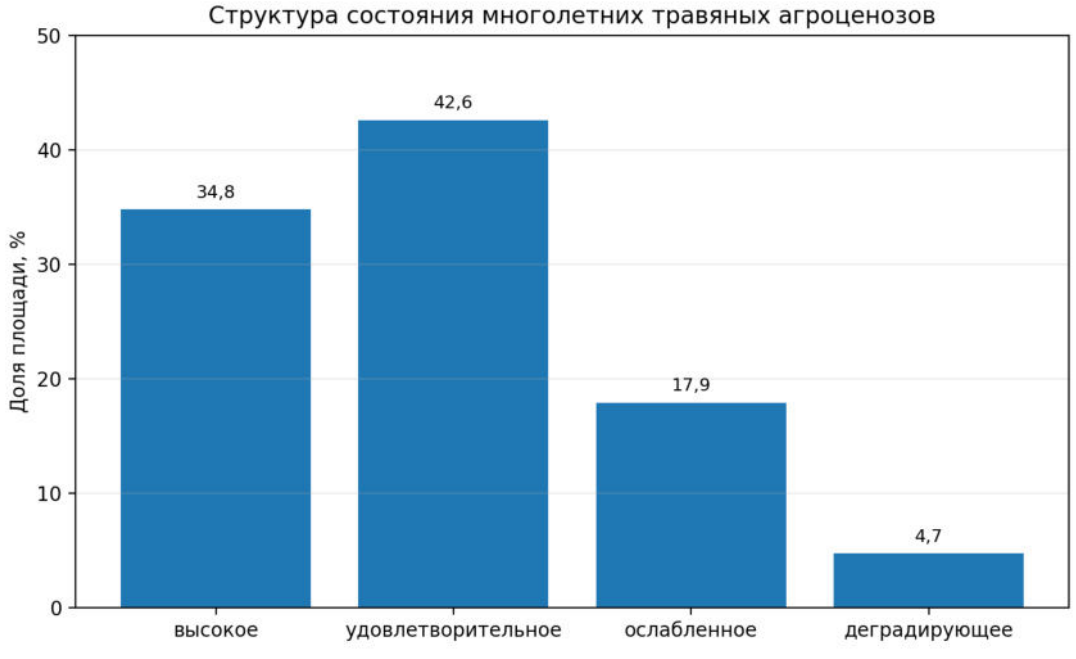


Рис. 4. Распределение агроценозов по классам состояния

Полученные результаты согласуются с современными исследованиями, где спутниковые индексы используются для оценки состояния травяных экосистем и сельскохозяйственных посевов [9, 10]. Практическая ценность подхода заключается в переходе от сплошного обследования полей к адресному контролю зон риска. На основе карт индексов можно планировать подкормки, подсев трав, сроки укоса и маршруты полевой диагностики. При этом спутниковый мониторинг не заменяет наземные наблюдения, а формирует основу для их рациональной организации.

К ограничениям методики относятся облачность, различия в сроках укоса, необходимость точных границ полей и невозможность прямого определения ботанического состава только по спектральным индексам. Наиболее надежные результаты могут быть получены при использовании многолетних временных рядов и сопоставлении спутниковых данных с фактической урожайностью, агрохимическими показателями и результатами полевых обследований.

Выводы

1. Данные Sentinel-2 MSI являются информативной основой для мониторинга многолетних травяных агроценозов Лаишевского района, поскольку позволяют оценивать состояние растительности на уровне полевых контуров и внутриполевых зон.

2. Наиболее диагностически значимым периодом является июнь-июль, когда травостой достигает максимального развития, а различия между участками наиболее устойчиво отражаются в значениях индексов.

3. Совместное применение NDVI, EVI, NDRE и MSAVI повышает надежность оценки: каждый индекс отражает отдельную сторону состояния травостоя – зеленую массу, плотность покрова, хлорофилльную активность и влияние почвы.

4. Классификация по данным спутниковой съемки позволяет выделять участки высокого, удовлетворительного, ослабленного и деградирующего состояния и использовать эти данные для планирования агротехнических мероприятий.

5. Перспективным направлением дальнейших исследований является калибровка индексов по фактической урожайности, ботаническому составу и данным агрохимического обследования почв.

Список литературы

1. Лаишевский район // Татарская энциклопедия. Казань: Институт татарской энциклопедии и регионоведения АН РТ. – URL: https://tatarica.org (дата обращения: 02.07.2026).

2. Земледелие // Татарская энциклопедия. Казань: Институт татарской энциклопедии и регионоведения АН РТ. – URL: https://tatarica.org (дата обращения: 02.07.2026).

3. Sentinel-2 User Handbook. Paris: European Space Agency, 2015. – 64 p.

4. Copernicus Data Space Ecosystem. Sentinel-2. – URL: https://dataspace.copernicus.eu (date of access: 02.07.2026).

5. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // Remote Sensing of Environment. – 1979. – Vol. 8, № 2. – P. 127–150.

6. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices // Remote Sensing of Environment. – 2002. – Vol. 83, № 1–2. – P. 195–213.

7. Gitelson A. A., Merzlyak M. N. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves // International Journal of Remote Sensing. – 1997. – Vol. 18, № 12. – P. 2691–2697.

8. Qi J., Chehbouni A., Huete A. R., Kerr Y. H., Sorooshian S. A modified soil adjusted vegetation index // Remote Sensing of Environment. – 1994. – Vol. 48, № 2. – P. 119–126.

9. Ayvazyan G., Muradyan V., Tepanosyan G. Satellite remote sensing for assessing the ecological state of grasslands and pastures // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2023. – Vol. XLVIII-1/W2-2023. – P. 1325–1330.

10. Santana C. T. C., et al. Using Harmonized Landsat Sentinel-2 Vegetation Indices for agricultural monitoring // Remote Sensing. – 2025. – Vol. 17, № 17. Article 2927.

УДК 631.15:330.341:28

DIGITAL FOOTPRINT OF HALAL AND ORGANIC PRODUCTS: IS TRANSPARENCY ETHICAL?

Nezhmetdinova F.T., Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Philosophy and Law of Kazan State Agrarian University;
ORCID: 0000-0003-2875-128X;
E-mail: nadgmi@mail.ru;
Yazid Yaakob, Professor, Halal Product Research Institute, Universiti Putra Selangor, Selangor, Malaysia,
ORCID: 0000-0001-6691-433X;
Nuriev I.G., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Management, State and Municipal Service of Kazan State Agrarian, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0009-0739-3293;
E-mail: ilshat.nuriev@tatar.ru;
Syariena Arshad, University Research Officer, Laboratory of Halal Policy & Management, Halal Products Research Institute, Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang Selangor, Malaysia;
ORCID: 0000-0003-4631-6898

ЦИФРОВОЙ СЛЕД ХАЛЯЛЬ И ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ: ЭТИЧНА ЛИ ПРОЗРАЧНОСТЬ?

Нежметдинова Ф.Т., к.филос.н., доцент кафедры философии и права ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»;
ORCID: 0000-0003-2875-128X;
E-mail: nadgmi@mail.ru;
Язид Якоб, профессор Научно-исследовательского института халяльных продуктов, Университет Путра, Селангор, Малайзия;
ORCID: 0000-0001-6691-433X;
Нуриев И.Г., к.э.н., доцент кафедры кафедры управления, государственной и муниципальной службы ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0009-0739-3293;
E-mail: ilshat.nuriev@tatar.ru;
Сириена Аршад, научный сотрудник лаборатории политики и менеджмента в области халяль Института исследований халяльных продуктов, Университет Путра, Селангор, Малайзия
ORCID: 0000-0003-4631-6898

Abstract

The article examines the bioethical aspects of implementing digital traceability technologies in halal and organic product supply chains. The relevance of the research is driven by the growing global demand for certified products and the simultaneous increase in fraud risks, which necessitates new approaches to ensuring consumer trust. Based on an analysis of Malaysia's experience as a global leader in the halal industry and pilot projects in the Republic of Tatarstan, key ethical dilemmas are identified, related to the balance between technological transparency and the preservation of traditional trust mechanisms, producer data protection, and the accessibility of digital solutions for small businesses. It is shown that blockchain technologies can enhance the integrity of halal supply chains, but their implementation faces methodological and institutional barriers. Recommendations for the Republic of Tatarstan and Russia on the development of digital traceability with consideration of bioethical principles are formulated.

Keywords: digital agriculture, blockchain, halal, organic, traceability, bioethics, Malaysia, Tatarstan, supply chains, digital certification

Аннотация

В статье рассматриваются биоэтические аспекты внедрения цифровых технологий прослеживаемости в цепочках поставок халяльной и органической продукции. Актуальность исследования обусловлена ростом глобального спроса на сертифицированную продукцию и одновременным увеличением рисков фальсификации, что требует новых подходов к обеспечению доверия потребителей. На основе анализа опыта Малайзии как мирового лидера халяль-индустрии и пилотных проектов в Республике Татарстан выявлены ключевые этические дилеммы, связанные с балансом между технологической прозрачностью и сохранением традиционных механизмов доверия, защитой данных производителей и доступностью цифровых решений для малого бизнеса. Показано, что блокчейн-технологии способны повысить целостность халяльных цепочек поставок, однако их внедрение сталкивается с методологическими и институциональными барьерами. Сформулированы рекомендации для Республики Татарстан и России по развитию цифровой прослеживаемости с учётом биоэтических принципов.

Ключевые слова: цифровой АПК, блокчейн, халяль, органик, прослеживаемость, биоэтика, Малайзия, Татарстан, цепочки поставок, цифровая сертификация

Introduction

The modern agro-industrial complex is entering an era of digital transformation that promises to dramatically improve efficiency, transparency, and manageability of production processes. At the same time, global demand for products certified according to halal and organic standards is growing, driven both by demographic factors (growth of the world's Muslim population) and by changing consumer preferences for environmentally friendly and ethically produced goods [1]. The intersection of these two trends – digitalisation of agriculture and expansion of the halal/organic market – gives rise to complex bioethical questions concerning the nature of trust, transparency, and control in food supply chains.

Distributed ledger technologies (blockchain), the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence offer fundamentally new tools for ensuring product traceability "from farm to fork". The potential benefits are obvious: blockchain can guarantee the immutability of data on product origin, production conditions, and certification, which is especially important for halal products, where the integrity of the entire supply chain is a religious requirement rather than just a marketing argument [2]. In Malaysia, a global leader in the halal industry, digital transformation of certification processes has made significant progress: since 2025, halal compliance certificates have been issued electronically through the MYeHALAL system, and blockchain-based traceability applications are being deployed in pharmaceuticals, cosmetics, and food products [3].

However, transferring Malaysia's experience to Russian realities faces a number of challenges. In the Republic of Tatarstan, which positions itself as one of the centres of the halal industry in Russia, a pilot project on blockchain traceability of halal chains was launched in 2026 at two poultry farms. This initiative, implemented jointly with the International Centre for Standardisation and Certification, allows consumers to trace the product's journey – from feed and broiler to processing – via a QR code [4].

Yet behind the technological optimism lie fundamental bioethical questions: to what extent is total digital transparency compatible with the principles of respect for producers' autonomy and protection of trade secrets? Does turning an animal into a "bio-sensor" deprive it of intrinsic value? And finally, does digitalisation truly strengthen trust, or does it merely create an illusion of control behind which new vulnerabilities are hidden?

This article aims to provide a comparative analysis of approaches to digital traceability of halal and organic products in Malaysia and Russia (with a special focus on the Republic of Tatarstan) and to identify bioethical aspects that need to be taken into account when scaling up the relevant technologies. The research is based on the analysis of regulatory documents, scientific publications, and industry reports for the period 2020–2026.

Research Methodology

The research is based on a qualitative analysis of secondary sources: scientific articles, official documents, industry reports, and materials from business forums. The method of comparative analysis of institutional and technological approaches to traceability in different jurisdictions was applied. Malaysia was chosen as a comparison object because of its recognised leadership in the global halal industry. The Republic of Tatarstan was chosen because of its pioneering status in implementing blockchain traceability in the Russian halal industry.

To systematise the comparative analysis, a tabular form of data presentation was used for key parameters: regulatory framework, technological solutions, coverage of supply chain participants, and maturity of traceability systems. The analysis of scientific literature was carried out along key thematic areas: technological innovations in halal supply chains, blockchain in agriculture, bioethics of agricultural digitalisation, and comparative studies of halal certification. Special attention was paid to works published in peer-reviewed journals over the last five years.

Main Part

3.1. Ethics of Transparency: Theoretical Frameworks

Digital traceability in agriculture is not only a technological but also a deeply ethical phenomenon. The bioethical analysis rests on the question of the relationship between two values:

transparency, understood as the availability of information on the origin and properties of a product to all stakeholders, and respect for the autonomy of producers and other participants in the supply chain [5].

Traditional mechanisms for ensuring trust in halal products were based on the personal authority of certification bodies, religious authorities, and established inspection procedures. With the transition to digital systems, trust begins to be mediated by technology: instead of "I trust the certification body," the attitude becomes "I trust the data in the blockchain." This shift has both positive and negative bioethical consequences.

On the one hand, blockchain ensures the immutability of records, making falsification difficult and increasing the accountability of all participants in the chain. Empirical studies show that the implementation of traceability technologies can improve tracking accuracy by 67% and increase sustainability indicators for small and medium-sized enterprises by 90% [2]. This is particularly important for the halal industry, where the reliability of certification is a religious requirement, and its violation undermines not only commercial interests but also the spiritual trust of consumers.

On the other hand, total digital transparency may conflict with producers' right to commercial secrecy and data protection. Studies identify three main areas of scientific discourse: halal integrity and traceability (43% of publications), challenges of blockchain implementation (37%), and technology governance systems (21%) [2]. At the same time, critical analysis reveals significant methodological inconsistencies, including sample bias in case studies and contradictions between qualitative optimism and quantitative reality – in particular, 73% of small and medium-sized enterprises face failures in implementing such systems [2].

A bioethical issue of particular importance is the "digital footprint" of animals in traceability systems. The introduction of sensors, RFID tags, and monitoring systems turns the animal into an object of continuous surveillance, raising the question of preserving its intrinsic value beyond economic utility. In the context of halal, where prescriptions for humane treatment of animals have religious status, this aspect requires special attention [6].

3.2. Malaysian Experience of Digital Transformation of the Halal Industry

Malaysia represents the most advanced example of institutional and technological integration of digital solutions into the halal industry. The key regulatory body is the Department of Islamic Development Malaysia (JAKIM), whose standards are recognized in more than 80 countries. As of December 2025, more than 10,000 companies, of which 80% are small and medium-sized enterprises, hold official Malaysian halal certificates [3].

Rather than treating halal certification as a one-time regulatory assessment, Malaysia adopts a lifecycle approach in which halal integrity is monitored throughout the supply chain – from raw material sourcing and slaughtering to manufacturing, logistics, retail, and consumer verification. This digital transformation is coordinated primarily by JAKIM with support from the Halal Development Corporation (HDC) under the strategic direction of the National Halal Policy and the Halal Industry Master Plan 2030 (HIMP 2030) [7]. Together, these initiatives position digital traceability not only as a regulatory tool but also as a mechanism to strengthen consumer confidence, facilitate international trade, and enhance Malaysia's competitiveness as a global halal hub.

The backbone of Malaysia's digital halal governance is the MYeHALAL platform, which has evolved from an online certification portal into an integrated halal management system. Through MYeHALAL, companies submit applications, upload supporting documentation, monitor certification progress, receive inspection schedules, and manage renewals electronically. The latest MYeHALAL 2.0 further enhances operational efficiency through improved system integration, artificial intelligence assistance, and interoperability with other halal databases. One of its major innovations is the integration of MyHALALINGREDIENTS, a central repository containing halal-verified ingredients that have previously undergone evaluation by JAKIM. This allows manufacturers to reference approved ingredients directly during certification applications, reducing repetitive assessments, shortening processing times, and improving consistency across multiple applicants. In addition, Malaysia

introduced the Electronic Malaysian Halal Certificate (e-Cert), which enables certified companies to obtain digitally authenticated halal certificates with enhanced security features and online verification, thereby reducing the risk of certificate forgery while allowing consumers and trading partners to verify certification status instantly [8].

Digital traceability in Malaysia extends beyond certification into upstream production, particularly in halal meat processing. The Halal Abattoir Application System digitizes the registration, approval, and monitoring of slaughterhouses that supply halal meat for domestic consumption and export. Digital records include slaughterhouse approvals, inspection outcomes, halal compliance documentation, and operational information that can be accessed more efficiently by regulators during audits and surveillance activities. Combined with electronic certification and digital ingredient verification, these systems establish an integrated chain of evidence that documents compliance at every stage of production. Such traceability can be further enhanced and is increasingly complemented by technologies including QR code verification, cloud-based databases, IoT monitoring, and block chain-based supply chain solutions that provide tamper-resistant records of production and logistics activities [9].

The Malaysian experience demonstrates an evolutionary path from traditional paper-based certification to a comprehensive digital ecosystem. The key success factor is not so much the technology itself, but the institutional support and integration of digital solutions into the existing regulatory system. As emphasized in official statements, digitalization is seen not as a replacement for traditional trust mechanisms, but as their reinforcement.

3.3. Russia and Tatarstan: Pilot Projects and Institutional Barriers

In Russia, the development of digital traceability for halal and organic products is in its early stages, yet there is steady interest from both government bodies and industry associations. Export of products produced according to halal standards is considered a strategic direction for agricultural development: by the end of 2025, exports to the countries of the Organization of Islamic Cooperation reached about 170 billion dollars [10].

The Republic of Tatarstan is a pioneer in implementing block chain traceability in the Russian halal industry. In May 2026, on the sidelines of the XVII International Economic Forum "Russia – Islamic World: KazanForum", Deputy Minister of Agriculture and Food of Tatarstan Dmitry Yashin announced the launch of a pilot project at two poultry farms. The technology, developed jointly with the International Centre for Standardisation and Certification, allows consumers to track the full product journey – from feed and broiler to logistics and processing – via a QR code [4].

This statement reflects the key motive for introducing the technology – combating falsification of halal products, which undermines consumer trust and hinders export potential. As the head of the Halal Centre, Aidar Gazizov, notes, as the halal industry gains momentum, related challenges arise, such as an increase in counterfeit products, which requires the creation of a digital tracking system [1].

Within the framework of the forum, a discussion on "Circular Bioeconomy: Halal and Organic as Innovation Drivers" was also held, where experts from OIC countries discussed the combination of modern biotechnology and digitalisation with halal requirements, as well as digital labelling and blockchain for supply chain traceability [10]. This indicates an understanding of the topic's relevance at the interstate level.

At the same time, Russian experience faces a number of institutional and methodological barriers. First, there is no unified national platform for digital traceability of halal products analogous to Malaysia's MYeHALAL. Second, fragmentation of certification bodies and standards persists, complicating data integration. Third, low levels of digital literacy among agricultural producers and a lack of funding limit the scaling of pilot projects. Furthermore, the bioethical aspect of introducing digital systems in the Russian context remains on the periphery of discussion. While the Malaysian experience emphasises the need to preserve the spiritual dimension of halal alongside technological efficiency, Russian discussions focus primarily on export potential and protection against counterfeits.

3.4. Bioethical Challenges of Digital Traceability

A comparison of Malaysian and Russian approaches to digital traceability reveals several key bioethical challenges that require systematic reflection

Technologically mediated trust. The fundamental dilemma is to what extent digital transparency serves to strengthen trust, and to what extent it undermines it. Research shows that technologically mediated trust has a different nature from traditional trust based on personal relationships and institutional authority. In the context of halal, where trust has a religious dimension, this shift requires particular consideration [5].

"Digital inequality." Small producers, who form the backbone of the halal industry in both countries, often lack the resources to implement costly digital systems. In Malaysia, this challenge is partially addressed through government support and the creation of affordable mobile platforms. In Russia, such mechanisms have not yet been developed, creating a risk of market monopolisation by large players and marginalisation of traditional producers [2].

Data protection and trade secrecy. Total traceability, recording every stage of a product's lifecycle, generates a mass of data that may be used not only for certification but also for other purposes – control over producers, efficiency analysis, forecasting consumer behaviour. The question of who owns these data and how they may be used remains open in both jurisdictions. Ethical governance requires that digital traceability systems operate according to clear principles of transparency, proportionality, cybersecurity, and responsible data stewardship. From the perspective of Islamic ethics, these considerations are closely aligned with the principles of *amanah* (trustworthiness), *adl* (justice), and *maslahah* (public benefit) [10].

Transformation of the relationship to animals. The introduction of sensors, RFID tags, and monitoring systems turns the animal into an object of continuous observation, raising the question of preserving its intrinsic value beyond economic utility. The integration of IoT solutions into traceability systems allows monitoring the well-being of soil, air, and crops, but the ethical aspects of applying similar technologies to animals remain insufficiently elaborated [6].

Table 1

Comparative analysis of digital traceability practices for halal products

Comparison parameter	Malaysia	Russia / Republic of Tatarstan	OECD countries (generalized experience)
Regulatory framework	National Blockchain Plan 2021-2025 (60% of goals achieved); MBI infrastructure from 2025[4]	Federal status of the Russia–Islamic World Forum; Halal export strategy [5] EU	Regulations (178/2002, 852/2004, 2017/625); national agro-industrial digitalization strategies [8, 10]
Leading regulator	JAKIM (Department of Islamic Development); MOSTI, Ministry of Digital Technologies[4]	International Center for Standardization and Certification "Halal" at the Duma of the Russian Federation; Federal State Budgetary Institution "CC APK" [5,7]	National Agencies for Standardization and Food Safety
Digital platforms	MYeHALAL (e-certificates from 2025); HADIC (mobile application); QuikHalal	Pilot blockchain project at 2 poultry breeding complexes in the Republic of Tatarstan (starting in 2026) [6]	Blockchain platforms (IBM Food Trust, etc.); RFID; IoT sensors [8,9]

Окончание табл. 1

Comparison parameter	Malaysia	Russia / Republic of Tatarstan	OECD countries (generalized experience)
Technological format	Blockchain, QR codes, mobile verification, AI analytics [2,4]	Blockchain, QR codes (initial stage) [6]	Blockchain, IoT, AI, machine vision, spectral analysis [9, 11]
Coverge of participants	>10,000 companies (80% are SMEs); cosmetics, pharmaceuticals, food [1,2]	2 pilot poultry complexes (initial stage) [6]	Coverage of all product categories; emphasis on priority product groups [8]
Implementation challenges	73% of SMEs face failures in blockchain adoption; fragmentation, high cost, lack of interoperability	Low digital literacy; lack of a unified platform; fragmentation of standards	Methodological inconsistencies; integration barriers; regulatory constraints
Bioethical aspect	Technology as an enhancement of spiritual trust; preserving the "human dimension" of halal	Focus on combating counterfeits; bioethical reflection at initial stage	Methodological inconsistencies; integration barriers; regulatory constraints

Conclusions

The conducted analysis allows us to formulate the following conclusions that are relevant for the Republic of Tatarstan and Russia as a whole.

1. *Digital traceability is a necessary but insufficient condition for ensuring the integrity of halal supply chains.* Malaysia's experience shows that technological innovations must be integrated into an institutional ecosystem that includes clear certification standards, training of chain participants, and mechanisms for protecting producers' data. For Tatarstan, a priority task is the development of a regional digital platform compatible with international traceability systems and tailored to the specifics of local producers.

2. *Bioethical reflection must become an integral part of the digitalisation strategy for agriculture.* The introduction of blockchain and other traceability technologies should be accompanied by an analysis of their impact on producers' rights, animal welfare, and the nature of trust in the supply chain. Special attention should be paid to the protection of commercial secrets and the inadmissibility of using traceability data for purposes unrelated to ensuring product quality and safety. The creation of an ethics committee under the industry regulator is recommended to evaluate new technological solutions.

3. *Support measures for small and medium-sized producers should be a priority when scaling digital systems.* Given that in Malaysia 80% of halal certificate holders are SMEs and 73% of them face difficulties in adopting blockchain [2], it is necessary to provide affordable and adapted digital solutions for farmers and processors. This may include subsidising technology adoption, establishing competence centres, and developing simplified mobile applications.

4. *Integration with international traceability systems should take into account recognised standards.* For Russia, which seeks to increase exports of halal products to OIC countries, ensuring compatibility of national traceability systems with international ones is a strategic priority. This requires harmonisation of standards and the development of interstate cooperation in digital certification.

5. *Further research is needed to assess the long-term bioethical consequences of agricultural digitalisation.* In particular, empirical studies are required on the perception of digital traceability by various stakeholder groups (producers, consumers, religious authorities), analysis of the impact of digitalisation on traditional trust mechanisms, and assessment of risks associated with the concentration of data on production and supply chains.

Digital traceability of halal and organic products opens up new opportunities for ensuring quality and strengthening consumer confidence. However, these opportunities are accompanied by bioethical challenges that require systematic reflection and consideration in the development of digitalisation strategies. The experience of Malaysia, pilot projects in Tatarstan, and practices of OECD countries provide valuable material for developing balanced approaches that combine technological efficiency with respect for traditional values and the rights of all supply chain participants.

References

1. Valiev A.R., Yazid Yaakob, Nezhmetdinova F.T., Nor Nadia Mohd Zaki, Syariena Arshad. Evolution of the term "Halal": from the concept regulating food behavior norms to large sectors of the economy (experience of Malaysia and the Republic of Tatarstan) // Eurasian Space: Economics, Law, Society. – 2024. – № 12. – P. 8–13. (in Russian)

2. Khan M.A., Rahim N.A., Ahmad S. et al. Technological innovation for religious compliance: a framework for AI and blockchain implementation in halal food supply chains // Journal of Islamic Marketing. – 2026. – Vol. 17, № 5. – P. 1839–1866. – DOI: 10.1108/JIMA-08-2025-0234.

3. Fernando Y., Hassan I.S., Rahim N.A. When gorgeousness embraces technological ingenuity: future of blockchain-based halal beauty supply chain // Journal of Islamic Marketing. – 2025. – Vol. 16, № 6. – DOI: 10.1108/JIMA-05-2024-0203.

4. Kusanova D.S. “Halal industry in the Republic of Tatarstan” // Islam in the Modern World. – 2021. (in Russian)

5. Nezhmetdinova F.T., Guryleva M.E., Blatt N.L. The new role of bioethics in emergencies on the example of COVID-19 // BioNanoScience. – 2022. – DOI: 10.1007/s12668-022-00985-9.

6. Hasan H.R., Musamih A., Salah K., Jayaraman R., Omar M., Arshad J., Boscovic D. Smart agriculture assurance: IoT and blockchain for trusted sustainable produce // Computers and Electronics in Agriculture. – 2024. – Vol. 224. – DOI: 10.1016/j.compag.2024.109184.

7. Halal Development Corporation (HDC). Halal Industry Master Plan 2030 (HIMP 2030). – URL: https://www.hdcglobal.com (accessed: 07.04.2026).

8. Jabatan Kemajuan Islam Malaysia. Kenyataan media Ketua Pengarah Jabatan Kemajuan Islam Malaysia berkenaan pelaksanaan Sijil Pengesahan Halal Malaysia (SPHM) secara elektronik (e-Cert). – 2025. – 8 May. – URL: https://www.islam.gov.my (accessed: 24.06.2026).

9. Digital Traceability in Agri-Food Supply Chains: A Comparative Analysis of OECD Member Countries // Foods. – 2024. – Vol. 13, № 7. – DOI: 10.3390/foods13071075.

10. Ahmad Z., Mafaz M.N.A., Rahman D.M.M. Harmony in Halal: understanding stakeholder opinions, product analysis and policy evaluation in Malaysia // Western Scientific Business and Management. – 2023. – Vol. 1, № 05. – P. 495–508. – DOI: 10.58812/wsbm.v1i05.358. (in Russian? Actually the journal name is in Russian? The reference says “Западный научный бизнес и менеджмент” – Western Scientific Business and Management, but it might be a Russian journal. We'll keep as translated.)

УДК 631.4

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Рязанов С.С., к.б.н., старший научный сотрудник,
ORCID: 0000-0002-5043-1963;
E-mail: RStanislav.soil@gmail.com;
Кулагина В.И., к.б.н., и.о. заведующего лабораторией экологии и почв Института проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-1963-7680

FACTOR ANALYSIS AS A TOOL FOR ASSESSING THE STATE OF SOIL COVER

Ryazanov S.S., PhD in Biology, Senior Researcher;
ORCID: 0000-0002-5043-1963;
E-mail: RStanislav.soil@gmail.com;
Kulagina V.I., PhD in Biology, Acting Head of the Laboratory of Ecology and Soils, Institute of Ecology and Subsoil Use, Academy of Sciences of the Republic of Kazan, Tatarstan, Russia;
ORCID: 0000-0002-1963-7680

Аннотация

Исследование посвящено совершенствованию методики интегральной эколого-биологической оценки почв путем применения многомерных статистических методов – факторного анализа (FA) и метода главных компонент (PCA). Традиционный подход к расчету интегрального индекса биологического состояния почв (ИИБС), предложенный К.Ш. Казеевым и соавторами, предполагает равнозначность всех используемых показателей, что не учитывает их различную информативность и чувствительность к антропогенным воздействиям. На основе данных по 9 микробиологическим и биохимическим показателям серых лесных почв с разным уровнем антропогенной нагрузки (фоновые участки, органическое и традиционное земледелие) проведен расчет весовых коэффициентов для каждого показателя с использованием FA и PCA. Показано, что оба метода позволяют объективизировать процедуру взвешивания и выделить наиболее информативные параметры – ферментативные показатели (уреазная, каталазная и инвертазная активность). Установлено, что FA выявляет скрытые биологические процессы, соответствующие углеродному и азотному циклам, тогда как PCA максимизирует различия между участками на основе общей изменчивости данных. Рассчитанные значения ИИБС с использованием весовых коэффициентов обладают большей чувствительностью, особенно для почв органических агроэкосистем. Предложенный подход рекомендован для объективизации экологической диагностики почв при различных формах землепользования при наличии достаточного объема данных.

Ключевые слова: интегральный индекс биологического состояния почв, ИИБС, факторный анализ, метод главных компонент, весовые коэффициенты, биодиагностика почв, органическое земледелие, ферментативная активность

Abstract

The study is devoted to improving the methodology for integral ecological and biological assessment of soils through the application of multivariate statistical methods – Factor Analysis (FA) and Principal Component Analysis (PCA). The traditional approach to calculating the integral index of biological state of soil (IIBS), proposed by K.Sh. Kazeev and co-authors, assumes equal importance of all used indicators, which does not take into account their differing informational value and sensitivity

to anthropogenic impacts. Based on data on 9 microbiological and biochemical parameters of gray forest soils with different levels of anthropogenic load (background sites, organic and conventional farming), weight coefficients for each indicator were calculated using FA and PCA. It is shown that both methods make it possible to objectify the weighting procedure and identify the most informative parameters – enzymatic indicators (urease, catalase and invertase activity). It was established that FA reveals latent biological processes corresponding to carbon and nitrogen cycles, while PCA maximizes differences between sites based on overall data variability. The calculated IIBS values using weight coefficients demonstrate greater sensitivity, especially for soils from organic agroecosystems. The proposed approach is recommended for objectifying ecological diagnostics of soils under various forms of land use, provided that sufficient volume of data is available.

Keywords: integrated index of biological soil state, IIBS, factor analysis, principal component analysis, weight coefficients, soil biodiagnostics, organic farming, enzymatic activity

Введение

Оценка экологического состояния почвенного покрова остается одной из ключевых задач в условиях нарастающей антропогенной трансформации ландшафтов. Традиционные физико-химические методы, несмотря на свою фундаментальную значимость, не всегда позволяют оперативно и комплексно охарактеризовать биологическую активность почвы и ее устойчивость к нагрузкам. В связи с этим все большее значение приобретают интегральные биолого-экологические показатели, основанные на чувствительных биологических параметрах, которые позволяют диагностировать состояние почвенных экосистем при различных формах землепользования [1, 2].

Одним из наиболее известных подходов к интегральной оценке является методика расчета индекса биологического состояния почв (ИИБС), предложенная К.Ш. Казеевым, С.И. Колесниковым и В.Ф. Вальковым [1]. Данный подход базируется на использовании комплекса микробиологических и биохимических показателей как наиболее чувствительных индикаторов изменений почвенной среды. Методика показала свою перспективность при использовании показателей ферментативной активности для мониторинга почв, а также при оценке состояния почв при переходе от традиционного земледелия к органическому [3-6].

Классический вариант методики предполагает равнозначность всех используемых параметров при расчете ИИБС, что вызывает обоснованные сомнения. Различные биологические и биохимические показатели обладают неодинаковой чувствительностью к антропогенным воздействиям и несут разную информационную нагрузку. Кроме того, многие из них коррелируют между собой, что приводит к мультиколлинеарности и избыточному учету одних и тех же свойств среды в интегральной оценке [1]. Ранее уже предпринимались попытки модифицировать оригинальную методику расчета [7].

Цель настоящей работы – усовершенствовать методику расчета ИИБС путем введения объективных весовых коэффициентов на основе факторного анализа (FA) и метода главных компонент (PCA), а также провести сравнительную оценку этих двух подходов для объективизации интегральной эколого-биологической диагностики почв.

Объекты и методы

Почвенные данные

Апробация методики проведена на примере почв фермерского хозяйства в Высокогорском районе Республики Татарстан. Отбор проб проведен в начале сентября 2020 г. Образцы представлены тремя уровнями антропогенной нагрузки: фоновый необрабатываемый участок, поле с органическим земледелием и поле с традиционным (интенсивным) земледелием с применением минеральных удобрений и пестицидов. Отбор образцов проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 из пахотного горизонта в период вегетации растений.

Для расчета интегрального индекса использовался набор из 9 биологических и биохимических показателей, отражающих различные аспекты функционирования почвенной биоты

(табл. 1). Микробиологические параметры определяли методом посева почвенных разведений на плотные питательные среды [8], активность ферментов – общепринятыми колориметрическими методами [3, 9].

Таблица 1

Почвенные показатели

Угодье	ОМЧ, 106 КОЕ/г	Азотобактер, % обрастания почвенных комочков	Микромицеты, 10^4 КОЕ/г	Амилолитики, 10^5 КОЕ/г	Инвертаза, мг глюкозы/г почвы за 4ч	Уреазная активность N мкг/г*ч	Каталазная активность, мл O_2 /г почвы в мин.	Актиномицеты 10^5 КОЕ/г	КАА/МПА
Поле традиционное	10.9	100	12.6	145.0	2.9	28.6	2.2	53.1	1.34
	20.5	100	12.4	97.8	2.7	23.3	2.2	45.9	0.48
	15.7	100	12.5	121.4	2.8	26.0	2.2	49.5	0.77
Поле органическое	33.5	23.0	16.9	192.0	2.6	23.2	1.0	70.5	0.57
	41.8	52.0	16.6	173.0	2.4	21.0	1.0	69.3	0.41
	37.6	37.5	16.7	182.5	2.5	22.1	1.0	69.9	0.49
Фон	63.1	0	14.3	213.0	6.0	42.9	1.7	83.3	0.34
	17.9	0	15.4	160.7	5.9	41.9	1.6	95.2	0.90
	40.5	0	14.9	186.9	6.0	42.4	1.7	89.3	0.46

ИИБС на основе факторного анализа

Факторный анализ основан на предположении, что наблюдаемые корреляции между переменными обусловлены ограниченным числом латентных (скрытых) факторов. Основная модель факторного анализа постулирует, что каждая наблюдаемая переменная может быть выражена как линейная комбинация этих скрытых факторов и уникального фактора, присущего только данной переменной. Веса в этих линейных комбинациях называются факторными нагрузками и интерпретируются как корреляции между наблюдаемыми переменными и латентным фактором [10].

Расчет весовых коэффициентов проводили в статистической среде R с использованием пакета psych. Данные были предварительно стандартизированы (z-преобразование). Оптимальное число факторов определяли методом параллельного анализа. Вращение факторов выполнялось методом *varimax* для улучшения интерпретируемости структуры.

Весовые коэффициенты для каждого показателя определялись на основе взвешенной суммы квадратов факторных нагрузок. Для этого из результатов факторного анализа извлекалась матрица факторных нагрузок и вектор долей объясненной дисперсии для каждого фактора. Затем для каждого показателя рассчитывалась сумма квадратов его нагрузок по всем факторам, взвешенная по доле объясненной дисперсии соответствующего фактора:

$$W_i = \sum_{j=1}^{k} (l_{ij}^2 * p_j) \quad (1)$$

где W_i – весовой коэффициент *i*-го показателя, l_{ij} – факторная нагрузка *i*-го показателя на *j*-й фактор, p_j – доля объясненной дисперсии *j*-го фактора, *k* – число выделенных факторов. Полученные веса нормировались так, чтобы их сумма равнялась единице.

После получения весовых коэффициентов они применялись для расчета среднего оценочного балла по формуле взвешенного среднего:

$$Бср. = (Б1*W1 + Б2*W2 +…+ Бn*Wn) / (W1 + W2 + … + Wn), \quad (2)$$

где: Бср. – средний оценочный балл показателей для данного участка, n – число показателей, W1-Wn – полученные весовые коэффициенты.

Итоговый интегральный индекс рассчитывался по формуле:

$$ИИБС = (Бср. / Бср. max) * 100\%, \quad (3)$$

где: Бср. – средний оценочный балл всех показателей для данного участка, Бср. max – максимальный средний оценочный балл всех показателей.

ИИБС на основе метода главных компонент (PCA)

Метод главных компонент, в отличие от факторного анализа, не разделяет общую и уникальную дисперсию, а строит новые ортогональные переменные (главные компоненты), максимизирующие дисперсию исходных данных. Главные компоненты представляют собой линейные комбинации исходных переменных и не имеют содержательной интерпретации [10].

Расчет весовых коэффициентов на основе PCA выполнялся в среде R с использованием функции prcomp. Данные предварительно центрировали и масштабировали. Для расчета весов использовались загрузки (rotation) главных компонент, кумулятивная доля объясненной дисперсии которых превышала 80%. Весовой коэффициент для каждого показателя рассчитывался как взвешенная сумма квадратов загрузок по выбранным компонентам, где вес компоненты – доля объясненной ею дисперсии:

$$W_i = \sum_{j=1}^{m} (a_{ij}^2 * q_j) \quad (4)$$

где *Wi* – весовой коэффициент i-го показателя, a_{ij} – загрузка (коэффициент) *i*-го показателя на *j*-ю главную компоненту, q_j – доля объясненной дисперсии *j*-й компоненты, *m* – число отобранных компонент. Полученные веса также нормировались к единичной сумме.

Дальнейший расчет ИИБС проводился по формулам 2 и 3. Классификация показателей на «позитивные» (высокое значение – благоприятно) и «негативные» (высокое значение – неблагоприятно или свидетельствует о стрессе) в обоих методах определялась на основе знака факторных нагрузок. Для FA знак определялся по нагрузкам на интерпретируемые факторы, для PCA – по знаку нагрузки на первую главную компоненту.

Результаты и обсуждения

Структура корреляций и интерпретация факторов

Проведенный факторный анализ выявил, что структура корреляций в исследованном наборе данных наилучшим образом объясняется двумя основными скрытыми факторами, которые в совокупности описывают значительную долю общей дисперсии (табл. 2). Такое число факторов соответствует результатам параллельного анализа и обеспечивает оптимальный баланс между объясняющей способностью и интерпретируемостью модели.

Первый фактор объединяет с положительными нагрузками ОМЧ, численность амилолитиков и микромицетов, а с отрицательными – каталазную активность и коэффициент КАА/МПА. Данный фактор может быть интерпретирован как фактор общей микробной биомассы и углеродного цикла. ОМЧ отражает общий пул микроорганизмов, амилолитики участвуют в разложении крахмала, а микромицеты являются основными деструкторами лигнина и целлюлозы. Высокие положительные значения этого фактора соответствуют почвам с развитой

микробной биомассой и активной деструкцией органического вещества, что характерно для благополучных экосистем. Отрицательные нагрузки каталазы указывают на то, что в таких почвах уровень окислительного стресса минимален [3]. Низкий коэффициент КАА/МПА при высоких значениях этого фактора может свидетельствовать о сбалансированности процессов минерализации и иммобилизации.

Таблица 2

Факторные нагрузки показателей после вращения varimax

Показатель	Фактор 1	Фактор 2	Общность (h^2)
ОМЧ	0.66	0.35	0.56
Azotobacter	-0.68	-0.72	0.99
Микромицеты	0.94	-0.02	0.88
Амилолитики	0.76	0.45	0.79
Инвертаза	0.02	1.00	0.99
Уреаза	-0.10	1.01	1.03
Каталаза	-0.97	0.17	0.96
Актиномицеты	0.54	0.77	0.88
КАА/МПА	-0.55	-0.08	0.31
SS нагрузок	3.90	3.49	
Доля дисперсии	0.43	0.39	

Второй фактор объединяет с положительными нагрузками активность инвертазы и уреазы, численность актиномицетов, а с отрицательной – численность *Azotobacter*. Это позволяет интерпретировать его как фактор азотного цикла и специализированной микрофлоры. Инвертаза и уреаза являются ключевыми ферментами, участвующими в трансформации углерода и азота [3, 4]. Актиномицеты участвуют в разложении устойчивых соединений. Отрицательная нагрузка *Azotobacter* на этот фактор отражает тот факт, что в условиях высокого плодородия и сбалансированного азотного питания (высокие уреазная и инвертазная активности) численность свободноживущих азотфиксаторов может снижаться, поскольку потребность в биологической фиксации азота уменьшается. Это согласуется с данными о том, что *Azotobacter* проявляет себя как индикатор земледельческого использования почв и уровня азотного удобрения [6].

На основе загрузок переменных рассчитаны весовые коэффициенты для дальнейшего расчета $ИИБС_{FA}$, которые отражают их общую значимость от наименее значимых до наиболее значимых: КАА/МПА (0,043) < ОМЧ (0,076) < амилолитики (0,102) < актиномицеты (0,119) < микромицеты (0,124) = инвертаза (0,124) < азотобактер (0,131) < каталазная активность (0,134) < уреазная активность (0,144).

Результаты метода главных компонент (PCA)

Проведенный анализ методом главных компонент показал, что первые две главные компоненты описывают 84.5% общей дисперсии данных (табл. 3). Первая компонента (PC1) объясняет 56.9% дисперсии, вторая (PC2) – 27.5%. Для расчета весовых коэффициентов были отобраны обе компоненты, поскольку их кумулятивная доля объясненной дисперсии превышала 80%, что является общепринятым эмпирическим правилом для сохранения основной информации при снижении размерности [10]. Значения загрузок отражают вклад каждого исходного показателя в формирование соответствующей главной компоненты. Чем выше абсолютное значение коэффициента, тем более значим показатель для данной компоненты.

Таблица 3

Загрузки показателей на первые две главные компоненты

Показатель	PC1	PC2
ОМЧ	0.351	-0.113
Azotobacter	-0.429	-0.093
Микромицеты	0.317	-0.385
Амилолитики	0.398	-0.075
Инвертаза	0.280	0.487
Уреаза	0.243	0.530
Каталаза	-0.278	0.463
Актиномицеты	0.401	0.184
КАА/МПА	-0.243	0.243
Стандартное отклонение	2.26	1.57
Доля дисперсии	0.569	0.275

Первая главная компонента (PC1), объясняющая более половины всей дисперсии, имеет высокие положительные загрузки для ОМЧ, амилолитиков, актиномицетов и микромицетов, и высокие отрицательные загрузки для *Azotobacter* и каталазы. Такая структура позволяет интерпретировать PC1 как интегральный фактор, отражающий общий уровень биологической активности и антропогенного стресса.

Вторая главная компонента (PC2) имеет высокие положительные загрузки для уреазной и инвертазной активности, а также каталазы, что указывает на связь этой компоненты с ферментативными процессами трансформации органического вещества.

Классификация показателей на «позитивные» и «негативные» на основе знака их загрузок на первую главную компоненту показала, что к «негативным» (высокое значение – неблагоприятно) относятся *Azotobacter*, каталаза и коэффициент КАА/МПА. Все остальные показатели были классифицированы как «позитивные».

Рассчитаны следующие весовые коэффициенты для $ИИБС_{PCA}$, по увеличению их значимости: КАА/МПА (0,064) < амилолитики (0,060) < ОМЧ (0,095) < актиномицеты (0,082) < азотобактер (0,071) < микромицеты (0,126) < каталазная активность (0,133) < инвертаза (0,141) < уреазная активность (0,227).

Сравнение весовых коэффициентов

Расчет весовых коэффициентов на основе факторных нагрузок и загрузок главных компонент выявил как сходства, так и различия в оценке информативности отдельных показателей (табл. 4). Весовой коэффициент отражает вклад каждого показателя в итоговый интегральный индекс и может интерпретироваться как мера его значимости для дифференциации почвенных участков.

Оба метода выделяют уреазную и каталазную активность, а также инвертазу как наиболее значимые показатели (высокие весовые коэффициенты). Это подтверждает высокую информативность ферментативных параметров для оценки биологического состояния почв, что согласуется с выводами Ф.Х. Хазиева и других исследователей [3, 4]. Наименьшие веса в обоих подходах получил коэффициент КАА/МПА, что указывает на его ограниченную ценность для различения почв в контексте данного исследования.

Вместе с тем, наблюдаются и различия. Метод FA придает больший вес (по сравнению с PCA) таким показателям, как *Azotobacter* и амилолитики, что отражает его нацеленность на выявление скрытых биологических процессов (азотный и углеродный циклы). PCA, напро-

тив, значительно повышает вес уреазной активности и инвертазы, поскольку эти показатели вносят наибольший вклад в общую изменчивость данных и лучше всего различают участки с разным уровнем антропогенной нагрузки. Методологически это различие фундаментально: FA отвечает на вопрос «какие показатели лучше всего измеряют скрытые биологические свойства», тогда как PCA – «какие показатели наиболее полезны для различения участков» [10].

Таблица 4

Весовые коэффициенты показателей, полученные методами FA и PCA

Показатель	Вес FA	Вес PCA
КАА/МПА	0.043	0.064
ОМЧ	0.076	0.095
Амилолитики	0.102	0.060
Актиномицеты	0.119	0.082
Микромицеты	0.124	0.126
Инвертаза	0.124	0.141
Azotobacter	0.131	0.071
Каталаза	0.134	0.133
Уреаза	0.144	0.227

Сравнение результатов интегральной оценки

Рассчитанные значения интегрального индекса биологического состояния почв с использованием весовых коэффициентов FA и PCA представлены в табл. 5.

Таблица 5

Значения ИИБС, рассчитанные различными методами

Угодье	ИИБС PCA	ИИБС FA
Фон	100.0	100.0
Поле органическое	78.5	80.9
Поле традиционное	50.0	47.0

Оба подхода дают однонаправленный и логичный результат: фоновый участок характеризуется наилучшим биологическим состоянием (100%), почвы органических полей занимают промежуточное положение, а почвы традиционных полей демонстрируют наиболее низкие значения индекса. Это подтверждает, что усовершенствованные методики отражают уровень антропогенной нагрузки [1, 5].

Однако количественные различия между методами заслуживают внимания. ИИБС на основе факторного анализа дают несколько более высокие значения для органического поля (80.9% против 78.5% для PCA), приближая его к фоновым показателям. Это может указывать на то, что $ИИБС_{PCA}$ недооценивает вклад ключевых ферментов (например, фосфатазы или уреазы), присваивая им равный вес с менее информативными показателями, такими как КАА/МПА или ОМЧ. Как показано в работе Кулагиной и др. [6], фосфатазная активность является одним из наиболее чувствительных индикаторов длительности применения органической системы земледелия, и её повышенный вес в интегральной оценке (через корреляцию с уреазой и инвертазой в рамках фактора 2) делает FA-метод более адекватным для выявления тонких различий между органическими и традиционными агроэкосистемами.

В случае традиционного поля различия между методами менее выражены: PCA – 50.0%, FA – 47.0%. Это может свидетельствовать о том, что при сильном антропогенном прессинге различия в весах показателей нивелируются, и все методы фиксируют общее угнетение биологической активности.

Таким образом, метод FA представляется теоретически более обоснованным, поскольку он учитывает структуру корреляций между показателями и выделяет латентные биологические процессы, тогда как PCA ориентирован на максимизацию различий между участками, что может быть полезно при решении задач классификации, но менее информативно для понимания механизмов функционирования почвенной биоты.

Заключение

Применение многомерных статистических методов – факторного анализа и метода главных компонент – позволяет объективизировать расчет интегрального индекса биологического состояния почв за счет определения научно обоснованных весовых коэффициентов для отдельных показателей. Показано, что FA и PCA решают разные задачи: FA выявляет и интерпретирует скрытые биологические процессы (в данном исследовании – углеродный и азотный циклы), тогда как PCA максимизирует различия между участками на основе общей изменчивости данных.

Оба подхода дают результаты, согласующиеся с классической методикой Казеева-Колесникова-Валькова, но являются более чувствительными и статистически обоснованными. Метод FA позволяет более точно оценить состояние почв при переходе к органическому земледелию за счет придания большего веса ферментативным показателям, отражающим ключевые биогеохимические циклы. Рекомендовано применение данных методов при наличии достаточного объема данных (соотношение числа наблюдений к числу показателей не менее 3:1) для повышения объективности экологической диагностики почв.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку отраслевых шкал градаций для взвешенного ИИБС применительно к различным типам антропогенного воздействия (сельскохозяйственное, техногенное, рекреационное и др.).

Список литературы

1. Казеев, К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федерального университета, 2012. – 260 с.

2. Казеев, К. Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону : Изд-во РГУ, 2003. – 216 с.

3. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – Москва : Наука, 2005. – 252 с.

4. Хазиев, Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев // Экобиотех. – 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 80-92.

5. Кулагина, В. И. Проверка набора параметров для интегральной оценки эколого-биологического состояния почв при органическом земледелии / В. И. Кулагина, Л. М. Сунгатуллина, С. С. Рязанов, А. М. Хайруллина, Р. Р. Шагидуллин, Э. Х. Рупова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7 (73). – № 1. – С. 90-102.

6. Кулагина, В. И. Микробиологические и биохимические свойства почв при разных сроках применения системы органического земледелия / В. И. Кулагина, Л. М. Сунгатуллина, Р. Р. Шагидуллин, С. С. Рязанов, А. М. Хайруллина, К. А. Гордеева // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2025. – Т. 11. – № 2. – С. 132-144.

7. Сапцын, Р. В. Индикаторы эколого-биологического состояния нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы / Р. В. Сапцын, О. З. Еремченко // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 4. – DOI: 10.51419/202134410.

8. Методы почвенной микробиологии. – Москва : Изд-во МГУ, 1991. – 302 с.

9. Щербакова, Т. А. К методике определения активности инвертазы и амилазы в почве / Т. А. Щербакова // Сборник докладов по ферментам почвы. – Минск, 1968. – С. 453-455.

10. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – Москва : Высшая школа, 1990. – 352 с.

УДК 004.93'1

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И СОРТИРОВКИ ФРУКТОВ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Садыков Б.Ф., студент;
E-mail: sadyckov344@gmail.com;
Шлеймович М.П., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-3021-5139
E-mail: MPShleymovich@kai.ru

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR FRUIT DETECTION AND SORTING BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Sadykov B.F., student;
E-mail: sadyckov344@gmail.com
Shleymovich M.P., PhD (Tech), Associate Professor, Head of the Department for Automated Systems for Information Processing and Control, the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI», Kazan, Russia
ORCID: 0000-0002-3021-5139;
E-mail: MPShleymovich@kai.ru

Аннотация

Представлена система для автоматической сортировки яблок на основе компьютерного зрения и глубокого обучения. Система выполняет инстанс-сегментацию плодов и дефектов поверхности с помощью архитектуры YOLOv8-seg, вычисляет количественную метрику доли гнили, диаметр и цвет каждого яблока. Показано, что ключевой проблемой при обучении модели является сильный дисбаланс классов, заключающийся в доминировании здоровых яблок над дефектными образцами (доля гнили 5–15%), что приводит к игнорированию здоровых плодов. Для преодоления дисбаланса проведена серия экспериментов, при проведении которых варьировался вес ошибки классификации, применялись усиленные аугментации, стратификация батчей и дообучение.

Полученные результаты обеспечивают распознавание нейросетевой моделью как гнилых, так и здоровых яблок с высокой точностью сегментации дефектов и скоростью обработки, достаточной для реального времени. Средняя абсолютная ошибка при вычислении доли гнили находится в приемлемых пределах, доля критических ошибок незначительна. Система интегрирована с базой данных и графическим интерфейсом, позволяет накапливать статистику по партиям, адаптировать пороги сортировки под требования производства, а также вести аудит действий пользователей. Однако выявлены ограничения: снижение точности

при перекрытии плодов более 50% площади и при резких перепадах освещения. Результаты работы могут быть внедрены без дорогостоящей замены оборудования на конвейерных линиях.

Ключевые слова: компьютерное зрение, сверточные нейронные сети, YOLO, инстанс-сегментация, сортировка яблок, дисбаланс классов, аугментация данных, реальное время

Abstract

A system for automatic apple sorting based on computer vision and deep learning is presented. The system performs an instance segmentation of fruits and surface defects using the YOLOv8-seg architecture, calculates a quantitative metric of rot fraction, the diameter and color of each apple. It is shown that the key problem in training the model is a strong class imbalance, consisting in the dominance of healthy apples over defective samples (the proportion of rot is 5-15%), which leads to ignoring healthy fruits. To overcome the imbalance, a series of experiments were conducted, during which the classification error weight was varied, and enhanced augmentations, batch stratification, and additional training were applied.

The obtained results ensure that the neural network model recognizes both rotten and healthy apples with high defect segmentation accuracy and a processing speed sufficient for real time operation. The average absolute error in calculating the proportion of rot is within acceptable limits, the proportion of critical errors is insignificant. The system is integrated with a database and graphical interface, allowing for the accumulation of batch statistics, adaptation of sorting thresholds to meet production requirements, and auditing of user actions. At the same time, a decrease in accuracy was obtained when overlapping fruit images by more than 50% of the area and with sudden changes in lighting. The results of the work can be implemented without expensive replacement of equipment on conveyor lines.

Keywords: computer vision, convolutional neural networks, YOLO, instance segmentation, apple sorting, class imbalance, data augmentation, real-time

Введение

Современное агропромышленное производство требует объективной и высокоточной сортировки плодовой продукции. Ручная инспекция субъективна, зависит от утомляемости оператора и не обеспечивает количественной оценки дефектов. Классические алгоритмы компьютерного зрения (пороговая сегментация, анализ текстур) чувствительны к изменениям освещения и сортовым особенностям, что ограничивает их применение на реальных конвейерных линиях [1, 2]. Бурное развитие глубоких свёрточных нейронных сетей (CNN) позволило автоматически извлекать иерархические признаки из изображений [11]. Одностадийные детекторы семейства YOLO (You Only Look Once) обеспечивают оптимальный баланс между точностью и скоростью, что критически важно для обработки видеопотока в реальном времени [3,12]. Дальнейшим шагом стало появление архитектур инстанс-сегментации (YOLO-seg, Mask R-CNN), которые формируют пиксельные маски объектов, позволяя вычислять площадь повреждённой поверхности плода [4, 13]. Однако практическое внедрение таких систем сталкивается с рядом проблем, как показано на рисунке 1. Помимо вариативности внешнего вида яблок и трудноразличимых дефектов, ключевым препятствием является **сильный дисбаланс классов**: в реальных партиях доля испорченных плодов обычно не превышает 5–15%, тогда как здоровые яблоки доминируют. Без специальных приёмов модель «слепнет» к редкому классу, что приводит к неприемлемо высокому уровню ложных отбраковок [10].

Существующие промышленные системы сортировки (Compac Sorter от TOMRA, Ellips Apple Grading, AgroVision) либо не поддерживают пиксельную сегментацию дефектов, ограничиваясь бинарной классификацией или оценкой цвета и размера, либо имеют высокую стоимость внедрения.

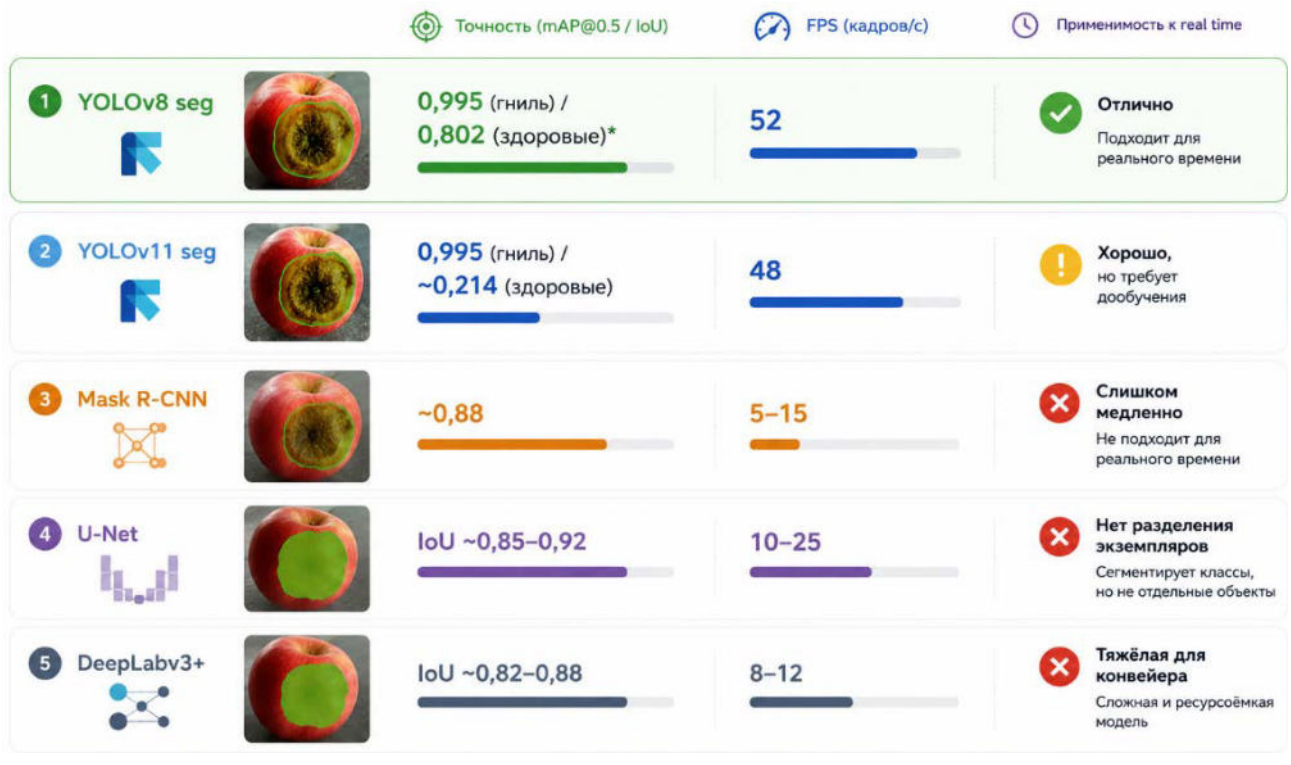


Рис. 1. Сравнение архитектур для сегментации дефектов яблок

Архитектура U-Net [6] демонстрирует высокую точность пиксельной классификации, однако не обеспечивает разделения экземпляров и уступает YOLOv8-seg по скорости. Многие из них не предоставляют открытых API для интеграции с информационными системами предприятия. Разрабатываемая система, напротив, базируется на открытых технологиях (Python, YOLO, SQL Server), обеспечивает количественную метрику Rotten_ratio и может быть адаптирована под различные конвейерные линии без дорогостоящей замены оборудования [4]. Цель данной работы – разработка системы автоматической сортировки яблок, включающей:

– инстанс-сегментацию дефектов;
– вычисление значений метрики гнили;
– классификацию по категориям качества;
– хранение результатов и статистики в базе данных;
– адаптивную настройку порогов сортировки.

При этом особое внимание уделено преодолению дисбаланса классов и достижению сбалансированного качества детекции при сохранении производительности реального времени.

1. Структура и компоненты системы

Разработанная система представляет собой настольное приложение, построенное по модульному принципу, основные компоненты:

– модуль загрузки и предобработки – чтение изображений, нормализация, преобразование цветовых пространств;

– нейросетевой модуль – инстанс-сегментация на основе предобученной модели YOLOv8-seg;

– модуль извлечения признаков – вычисление площади, метрики Rotten_ratio, эквивалентного диаметра, доминирующего цвета (в цветовой системе HSV);

– подсистема принятия решений – отнесение яблока к категории качества по порогам;

– подсистема хранения – база данных (таблицы Apples, Batches, Defects, Users, Logs и др.);

– графический интерфейс – отображением исходных изображений, масок сегментации, аналитических графиков и панели управления.

Приложение разработано языка Python с использованием программных библиотек OpenCV, Tkinter и системы управления базой данных Microsoft SQL Server.

Все ресурсоёмкие операции (инференс, запись в базу данных) вынесены в отдельные потоки с помощью библиотеки threading, что обеспечивает отзывчивость интерфейса и исключает его зависание при обработке последовательности кадров.

Рассмотрим пользовательские роли и права. Оператор создаёт новую партию (кнопка «Новая партия»), указывает происхождение, выбирает папку с изображениями яблок. При обработке система автоматически привязывает каждое яблоко к текущей партии. Система загружает первое изображение, применяет обученную нейросетевую модель (выполняет инференс модели), отображает маски гнили и вычисляет значение метрики Rotten_ratio, диаметр, цвет. Оператор при необходимости корректирует пороги ползунками – классификация пересчитывается мгновенно, результаты автоматически сохраняются в базе данных. По завершении партии (вручную или по достижении целевого количества яблок) система формирует JSON-объект QualityStats (средний Rotten_ratio, распределение по категориям, средний диаметр) и сохраняет его в таблицу Batches. Также система формирует статистику и строит графики во вкладке «Визуальные данные».

Администратор обладает всеми правами оператора и дополнительно отвечает за управление пользователями (таблица Users), включая создание, редактирование и удаление учётных записей, назначение ролей (Operator, OperatorAdmin) и сброс паролей с применением хеширования SHA-256; проведение калибровки камеры (таблица Calibration), при котором на конвейер помещается эталонный объект с указанием его реального размера в миллиметрах, после чего система автоматически вычисляет и сохраняет коэффициент пересчёта пикселей в миллиметры (PxToMm), используемый для всех последующих измерений диаметра и площади; настройку правил сортировки (таблица SortingRules), где задаются пороговые значения Rotten_ratio для категорий качества (Healthy, Slight defect, Medium, Rotten). При необходимости добавляются условия по размеру или цвету, чтобы созданное правило стало доступно оператору при формировании партии. Также обеспечивается аудит действий (таблица Logs), предоставляющий возможность просматривать полную историю операций всех пользователей с временными метками, включая входы в систему, создание партий, изменение параметров и сохранение результатов. Все соответствующие вкладки представлены на рис. 2.

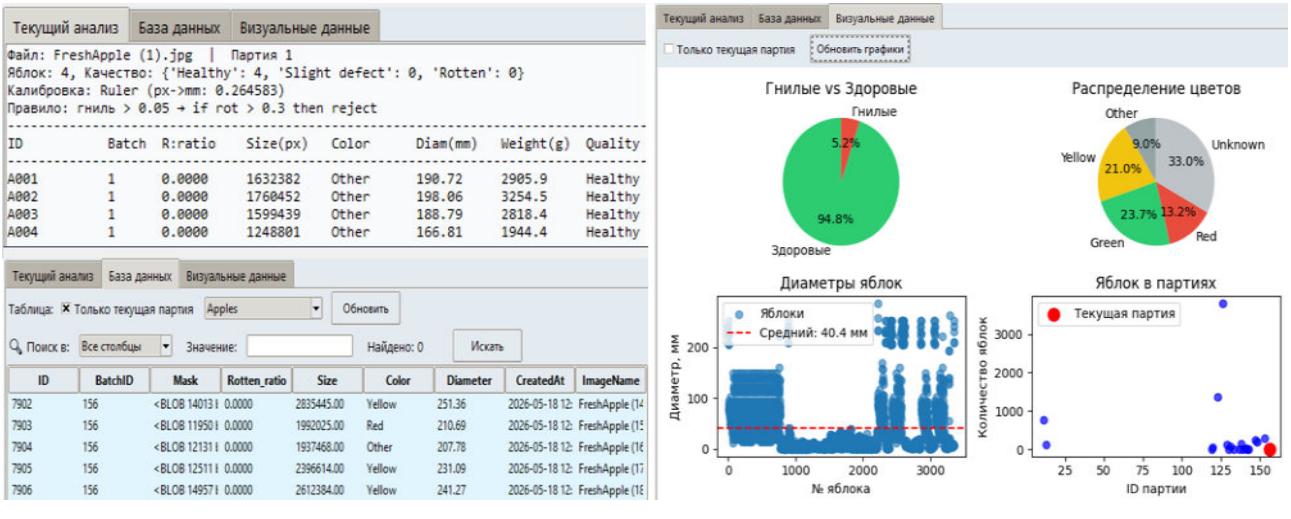


Рис. 2. Данные вкладок в базе данных

Для обеспечения аудита и возможности анализа ошибок в системе ведётся таблица Logs. В неё записываются все значимые действия пользователей: авторизация, создание и завершение партии, изменение правил сортировки, калибровки, ручное редактирование записей в базе данных.

Каждая запись содержит идентификатор пользователя, временную метку (DATETIME2), тип действия и дополнительную информацию в текстовом поле. Логирование работает асинхронно и не замедляет основной процесс сортировки.

Вкладка «Визуальные данные» содержит интерактивные графики, построенные с помощью библиотеки Matplotlib:

– круговая диаграмма соотношения здоровых и дефектных яблок (с разбивкой по категориям качества);

– столбчатая диаграмма распределения яблок по цветам (красный, жёлтый, зелёный);

– гистограмма диаметров всех обработанных плодов с указанием среднего значения и стандартного отклонения;

– линейный график динамики качества (среднего Rotten_ratio) по партиям – позволяет выявлять тренды.

Чекбокс «Только текущая партия» фильтрует данные, а кнопка «Обновить» перестраивает графики на основе свежих записей из базы данных.

Для каждого кадра:

1. Изображение подаётся в модель, получаем ограничивающие рамки (bounding boxes), оценки уверенности (confidence-scores), метки классов и бинарные маски.

2. Фильтрация детекций: порог для класса apple_bad – 0.5, для apple – 0.3.

3. Для каждого яблока вычисляется:

– площадь маски (количество ненулевых пикселей);

– площадь дефекта;

– диаметр яблока;

– цвет – среднее значение тона (Hue) в пространстве HSV.

4. Отнесение к категории качества: Healthy (Rotten_ratio ≤ 0.05), Slight defect (0.05–0.15), Medium (0.15–0.50), Rotten (>0.50).

5. Сохранение результатов в БД (транзакция: удаление старых записей для данного изображения, вставка новых записей в Apples и Defects).

Главное окно приложения разделено на четыре области:

– Верхняя панель – навигация по изображениям, смена папки, создание партии, поиск, режим автопродвижения.

– Центральная область – два холста: исходное изображение и результат разметки (полупрозрачные маски, bounding boxes, текст с confidence и Rotten_ratio).

– Левая панель – ползунки порогов для классов «гнилые»/«здоровые», блок калибровки (коэффициент px→мм), поле правил сортировки (например, if rot > 0.3 then reject).

– Правая панель (вкладки) – «Текущий анализ» (детальная информация по каждому яблоку), «База данных» (таблицы с возможностью редактирования), «Визуальные данные» (графики Matplotlib: распределение классов, цвета, гистограмма диаметров).

– Нижняя панель – кнопки навигации, «Обработать всю папку», «Экспорт CSV», счётчики здоровых/гнилых яблок, строка состояния.

Инференс модели, запись в базу данных, пакетная обработка папки вынесены в фоновые потоки (threading.Thread). Обновление GUI идёт через root.after(), что исключает зависание интерфейса. Механизм реализован следующим образом: при нажатии кнопки «Обработать всю папку» запускается фоновый поток, который последовательно загружает изображения, выполняет инференс модели и сохраняет результаты.

Прогресс обработки отображается в верхней панели через виджет progressbar, а обновление счётчиков и графиков происходит асинхронно с помощью метода root.after(). Это позволяет оператору параллельно настраивать пороги или просматривать уже обработанные кадры без ожидания завершения всей пакетной операции. Общий интерфейс представлен на рис. 3.

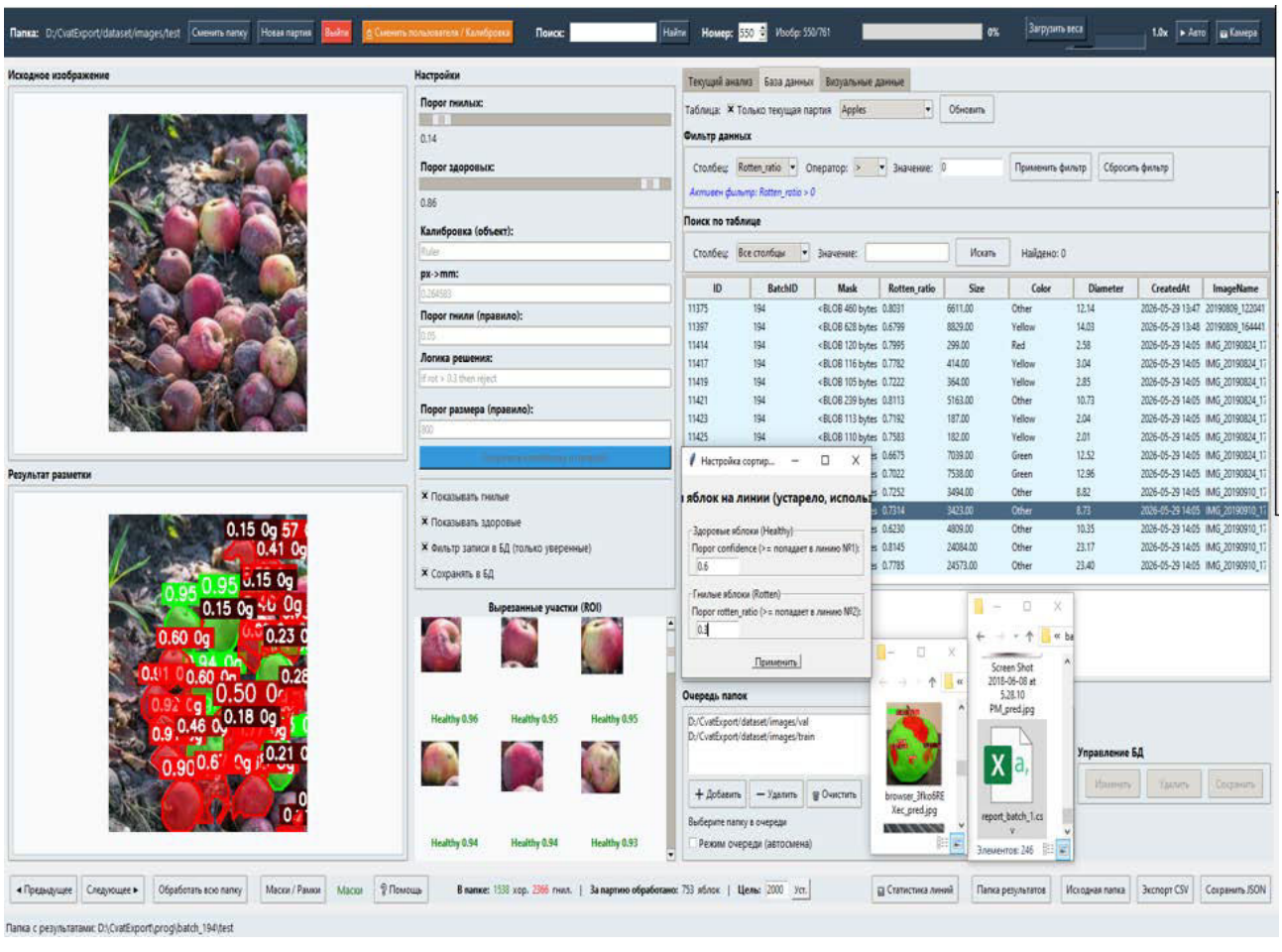


Рис. 3. Общий интерфейс программы

Разработанный интерфейс обеспечивает интуитивно понятное управление процессом сортировки, позволяет оператору в реальном времени контролировать качество каждой партии и при необходимости корректировать параметры.

2. Набор данных и эксперименты по балансировке классов

Сформирован комбинированный датасет объёмом около 5500 изображений, включающий открытые наборы (MinneApple, FruitVision, Fresh & Rotten Fruit) и собственные снимки, полученные при различном освещении, ракурсах и с частичными перекрытиями [8, 14]. Разметка выполнена в инструменте CVAT в формате полигональных масок для двух классов: apple – здоровое яблоко, apple_bad – участки гнили (дефект). Из-за специфики задачи класс apple_bad представлен в 3–5 раз чаще, что создаёт дисбаланс. Для расширения выборки и балансировки применены аугментации: RandomBrightnessContrast, GaussianNoise, HorizontalFlip, Rotate, ColorJitter, а также синтетическая генерация дефектов [7]. Процесс включал несколько этапов: сначала с помощью модели SAM (Segment Anything) автоматически выделялись контуры гнилостных участков на исходных изображениях; затем алгоритм Dual-Canny Edge Detection уточнял границы, после чего дефектный сегмент вырезался и с использованием альфа-блендинга (плавного смешивания текстур) переносился на изображение здорового яблока. Полученные синтетические образцы сопровождались точной полигональной маской, что позволило увеличить обучающую выборку без дополнительной ручной разметки. Добавление около 25% таких изображений повысило устойчивость модели к вариативности формы и расположения дефектов.

В качестве основной выбрана архитектура YOLOv8m-seg из-за поддержки инстанс-сегментации и возможности экспорта в ONNX/TensorRT для промышленного развёртыва-

ния [4, 5]. Дополнительно тестировалась YOLO11m-seg, но на данном датасете существенного преимущества не показала.

Обучение проводилось на GPU NVIDIA GeForce RTX 3070 Ti с параметрами:

– размер входного изображения: 640×640 пикселей;
– оптимизатор: AdamW (lr=1e-3, β_1=0.9, β_2=0.999, weight decay=1e-4);
– планировщик: Cosine Annealing с линейным разогревом 3 эпохи;
– batch size = 16 (эффективный 32 за счёт накопления градиентов);
– эпохи: 200 с ранней остановкой (patience=60).

Для борьбы с дисбалансом варьировались:

– вес классификационной ошибки (cls от 1.0 до 2.5);
– усиленные аугментации (copy_paste=0.4…0.5, mixup=0.3);
– стратификация мини-батчей;
– дообучение с низкой скоростью обучения (lr=5e-4 и lr=1e-4).

3. Эксперименты

Было проведено 6 серий экспериментов, результаты которых представлены на рисунке 4. Оценка качества проводилась по средней точности mAP@0.5 (IoU=0.5) для каждого класса на валидационной выборке (195–295 изображений в зависимости от опыта). Скорость инференса модели измерялась в кадрах в секунду (FPS). Для оценки работы системы использовались стандартные метрики компьютерного зрения [9]:

– mAP@0.5 (mean Average Precision при IoU ≥ 0.5) – характеризует точность локализации и классификации объектов. Значение ≥0.85 считается высоким;

– Precision – доля правильных детекций среди всех выданных системой. Высокая Precision означает мало ложных срабатываний;

– Recall – доля обнаруженных объектов среди всех реально присутствующих. Высокий Recall означает, что система редко пропускает дефекты;

– FPS (frames per second) – скорость обработки изображений. Для конвейерной сортировки требуется ≥30 FPS;

– MAE (mean absolute error) – средняя абсолютная ошибка вычисления Rotten_ratio по сравнению с ручной разметкой. Значение ≤0,05 считается приемлемым.



Рис. 4. Сравнение экспериментов по обучению моделей сегментации яблок

В опыте № 4 изменён состав валидационной выборки (добавлено больше изображений с классом apple), что привело к резкому росту метрики здоровых яблок, но падению качества гнили. Базовое обучение модели YOLOv8-seg приводит к игнорированию здоровых яблок из-за дисбаланса классов (mAP@0.5 = 0,279 против 0,994 для гнили) [10]. Усиление аугментации проблему не решает.

Наилучший результат достигнут дообучением с низкой скоростью обучения (lr=5e-4), что позволило сбалансировать качество: mAP@0.5 = 0,443 для здоровых и 0,802 для гнилых яблок. Средняя абсолютная ошибка (MAE) вычисления доли гнили по сравнению с ручной разметкой составила 0,023, доля критических ошибок (>0,05) – 4,2% [9, 15].

Эксперименты показывают, что дообучение с низкой скоростью обучения (опыт №5) позволяет достичь наилучшего баланса между распознаванием здоровых и дефектных яблок.

Заключение

Полученные результаты подтверждают, что дисбаланс классов является главным препятствием при обучении моделей сегментации для задач сортировки плодовой продукции. Без специальных датасетов и приёмов нейросеть оптимизирует доминирующий класс (гниль), игнорируя здоровые яблоки. Это неприемлемо, так как приводит к массовой ложной отбраковке качественной продукции. Наилучший компромисс достигнут в опыте №5: дообучение ранее обученной модели (best.pt из опыта №2) с низкой скоростью обучения (lr=5e-4), усиленной аугментацией (copy_paste=0.5, mixup=0.3) и ранней остановкой (patience=20). Такая стратегия позволяет «переучить» модель на равноправное распознавание обоих классов, не разрушая уже выученные признаки гнили.

Практическая значимость разработанной информационной системы заключается в автоматическом вычислении непрерывной метрики качества Rotten_ratio, что позволяет гибко настраивать пороги сортировки под разные рынки сбыта (розница, переработка, техническая утилизация); интеграция с SQL Server обеспечивает накопление истории по партиям, поставщикам и временным периодам для анализа трендов и оптимизации закупок, а пользовательский интерфейс с визуализацией масок и графиками даёт оператору возможность контролировать процесс и корректировать параметры в реальном времени.

При этом существуют ограничения текущей реализации: при сильном перекрытии яблок на кадре (более 50% площади) сегментация отдельных плодов может быть неточной, однако эта проблема решается на этапе сингуляции конвейера; также требуется стабильное освещение, так как при резких перепадах яркости confidence-score снижается, поэтому рекомендуется использовать дополнительный источник света.

Разработанная система автоматической сортировки яблок на основе YOLOv8-seg показала высокую эффективность: точность сегментации гнили достигает 0,995 mAP@0.5, что превышает требования реального времени. Предложенная стратегия дообучения с низкой скоростью обучения (lr=5e-4) и усиленной аугментацией позволила сбалансировать распознавание здоровых и дефектных плодов (mAP@0.5 = 0,443 и 0,802 соответственно). Система готова к промышленной эксплуатации на конвейерных линиях. Дальнейшее развитие предполагает увеличение датасета здоровых яблок за счёт синтетической генерации, тестирование архитектуры YOLOv11-seg с индивидуальными порогами уверенности для каждого класса, а также создание веб-интерфейса для удалённого мониторинга нескольких сортировочных линий и интеграцию с ERP-системами предприятия.

Список литературы

1. Cubero S. et al. Advances in machine vision for automatic inspection of fruits and vegetables // Food and Bioprocess Technology. – 2011. – Vol. 4, № 4. – P. 487–504.

2. Blasco J. et al. Computer vision detection of peel defects in citrus fruits // Food Control. – 2009. – Vol. 20, № 10. – P. 935–940.

3. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv:1804.02767. – 2018.

4. Jocher G. et al. YOLOv8: A new state-of-the-art for real-time object detection. – Ultralytics, 2023.

5. He K. et al. Deep Residual Learning for Image Recognition // CVPR. – 2016. – P. 770–778.

6. Ronneberger O. et al. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // MICCAI. – 2015. – P. 234–241.

7. Kirillov A. et al. Segment Anything // ICCV. – 2023. – P. 4015–4026.

8. Sa I. et al. DeepFruits: A Fruit Detection System Using Deep Neural Networks // Sensors. – 2016. – Vol. 16, № 8.

9. Yurdakul E. et al. A comparative study of YOLO variants for agricultural applications // Computers and Electronics in Agriculture. – 2024. – Vol. 218.

10. Никольский В.В., Савельев А.Н. Применение свёрточных нейронных сетей для сегментации дефектов на фруктах // Прикладная информатика. – 2023. – Т. 18, № 2. – С. 64–73.

11. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X. Deep learning in agriculture: A survey // Computers and Electronics in Agriculture. – 2018. – Vol. 147. – P. 70–90.

12. Tian Y., Yang G., Wang Z., Wang H., Li E., Liang Z. Apple detection during different growth stages in orchards using the improved YOLO-V3 model // Computers and Electronics in Agriculture. – 2019. – Vol. 157. – P. 417–426.

13. Guo Y., Liu Y., Oerlemans A., Lao S., Wu S., Lew M.S. Deep learning for visual understanding: A review // Neurocomputing. – 2016. – Vol. 187. – P. 27–48.

14. Bargoti S., Underwood J. Deep fruit detection in orchards // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2017. – P. 3626–3633.

15. Zhang Y., Wang S., Ji G., Dong Z. An MR brain images classifier via principal component analysis and kernel support vector machine // Progress in Electromagnetics Research. – 2014. – Vol. 130. – P. 369–388.

УДК 332.14

ПОЗИЦИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В РЕЙТИНГАХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АПК СРЕДИ РЕГИОНОВ РОССИИ

Саубанов К.Р., к.э.н., доцент кафедры мировой и региональной экономики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-7945-5627

THE POSITION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN IN THE RANKINGS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX AMONG RUSSIAN REGIONS

Saubanov K.R., PhD in Economics, Associate Professor of the Department of World and Regional Economy, Kazan Federal University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-7945-5627

Аннотация

В статье представлен всесторонний анализ текущего положения Республики Татарстан в основных федеральных рейтингах цифровой трансформации и инновационного развития агропромышленного комплекса среди регионов России по состоянию на 2025 г. Актуальность исследования напрямую вытекает из необходимости выявления эффективных новых возможностей роста для агропромышленного сектора региона с учетом объективных климатических

ограничений Среднего Поволжья и конкуренции со стороны южных и черноземных регионов страны.

Основные результаты исследования показывают, что конкурентоспособность агропромышленного комплекса определяется не только такими экономическими показателями, как инвестиционная активность и производительность труда, но и уровнем цифровизации, который, по мнению авторов, становится ключевым фактором конкурентоспособности в условиях быстрого развития технологий. Полученные результаты подчеркивают необходимость интеграции в производственные процессы информационных технологий для повышения эффективности и устойчивости аграрного сектора региональной экономики.

Рассматриваются результаты ежегодного динамического рейтинга Министерства сельского хозяйства, в котором Татарстан уверенно занимает первое место. Несмотря на выдающиеся практические успехи, автор объективно выделяет определенные области потенциального роста. К ним относятся острая необходимость углубления практической интеграции региональных сельскохозяйственных предприятий с федеральными государственными информационными системами, в частности, интеллектуальной платформой «Зерно», а также дальнейшее расширение повседневного использования различных нишевых цифровых сервисов.

Сделан обоснованный вывод о том, что достигнутый высокий уровень цифровизации создает сильное конкурентное преимущество АПК региона, которое может позволить Республики Татарстан выйти на первое место по показателю производства сельскохозяйственной продукции среди регионов России в стратегической перспективе.

Ключевые слова: цифровизация, агропромышленный комплекс, конкурентное преимущество, инновации, точное земледелие, искусственный интеллект, технологическое предпринимательство, информационные системы

Abstract

This article presents a comprehensive analysis of the current position of the Republic of Tatarstan in the main federal rankings of digital transformation and innovative development in the agro-industrial complex among Russian regions as of 2025. The relevance of the study stems directly from the need to identify effective new growth opportunities for the region's agro-industrial sector, taking into account the objective climatic constraints of the Middle Volga region and competition from the southern and black soil regions of the country.

The study's key findings demonstrate that the competitiveness of the agro-industrial complex is determined not only by economic indicators such as investment activity and labor productivity, but also by the level of digitalization, which, in the authors' view, is becoming a key competitive factor in the context of rapid technological advancement. The findings highlight the need to integrate information technologies into production processes in order to improve the efficiency and sustainability of the regional agricultural sector.

The article examines the results of the annual dynamic ranking of the Ministry of Agriculture, in which Tatarstan confidently holds first place. Despite its outstanding practical achievements, the author objectively identifies certain areas for potential growth. These include the urgent need to deepen the practical integration of regional agricultural enterprises with federal state information systems, particularly the «Zerno» («Grain») intelligent platform, as well as further expansion of the everyday use of various niche digital services.

A substantiated conclusion is drawn that the achieved high level of digitalization creates a strong competitive advantage for the region's agro-industrial sector, which could enable the Republic of Tatarstan to become the leader in agricultural production among Russian regions in the strategic future.

Keywords: digitalization, agro-industrial complex, competitive advantage, innovation, precision farming, artificial intelligence, technological entrepreneurship, information systems

В настоящее время в России [1–5] и за рубежом [6-8] активно развивается научное направление в области цифровизации сельских территорий и сельского хозяйства. Это направление, основанное на тенденциях и мировом опыте сложных и противоречивых процессов в сельскохозяйственном производстве, разрабатывает методологию управления цифровой трансформацией в сельском хозяйстве.

Научная школа по цифровой трансформации сельских территорий нацелена на интеграцию современных технологий в аграрный сектор и развитие инфраструктуры. Основное внимание представители этого направления уделяют использованию информационных технологий для повышения эффективности сельскохозяйственного производства, оптимизации процессов управления и улучшения качества жизни населения в сельской местности.

Республика Татарстан традиционно является одним из ведущих регионов России по развитию сельского хозяйства и неизменно входит в пятерку лидеров по общему объему сельскохозяйственной продукции [9]. Регион исторически обладает мощной промышленной базой, значительными пахотными землями и активно поддерживает агропромышленный сектор. Особенно высоки достижения республики в животноводстве, где она неизменно занимает лидирующие позиции в стране по производству товарного молока, а также в птицеводстве и свиноводстве.

Дальнейшие перспективы роста и потенциальное достижение первого места Республики Татарстан по общему объему сельскохозяйственной продукции основаны на нескольких стратегических направлениях. Важнейшим фактором является ориентация на передовую переработку сельскохозяйственного сырья. Строительство новых предприятий и модернизация существующих позволяют продавать продукцию с высокой добавленной стоимостью, что напрямую влияет на финансовые показатели сельскохозяйственного сектора региона. Дополнительным фактором является широкая цифровизация отрасли [10]: внедрение систем точного земледелия, автоматизированного управления стадом и использование беспилотных технологий повышают эффективность сельского хозяйства даже в неблагоприятных погодных условиях.

Министерство сельского хозяйства России совместно с Федеральным государственным бюджетным учреждением «Центр цифровой трансформации в сфере АПК» составляет ежеквартальный и ежегодный динамический рейтинг цифровой трансформации аграрно-промышленного комплекса субъектов Российской Федерации (табл. 1).

Динамический рейтинг является инструментом мониторинга и оперативного управления деятельностью и процессами цифровой трансформации в отрасли на уровне субъектов Российской Федерации.

Цель рейтинга – выявление сильных сторон и потенциала цифровой трансформации в регионах и обмен передовым опытом.

При оценке эффективности регионов учитываются такие факторы как наличие команды цифровой трансформации аграрно-промышленного комплекса в регионе, наличие стратегии цифровой трансформации, информация о государственной поддержке на сайте регионального исполнительного органа, наличие специалиста по информационной безопасности, состояние ИТ-инфраструктуры, аудит информационных систем, а также готовность группы цифровой трансформации к реализации преобразований и обеспечению долгосрочного и перспективного развития аграрно-промышленного комплекса с использованием цифровых технологий.

В табл. 1 видно, что Республика Татарстан является абсолютным лидером по цифровизации сельского хозяйства среди всех регионов Российской Федерации.

По результатам четвертого квартала 2025 г. Татарстан занимает первое место с наивысшим общим баллом – 8,80. В рейтинге 2025 г. регион также прочно удерживает последнее первое место и входит в топ-10.

Таблица 1

Итоги динамического рейтинга цифровой трансформации сферы АПК за 2025 год (20 регионов-лидеров) [11]

Субъект	Меры господдержки	Инфобезопасность	Обучение РОИВ			Обучение подведов			Обучение предприятий			Использование ФГИС	Автоматизация	Роботизация	ИИ на предприятиях	Технологии точного земледелия	Суммарный балл 4 квартал	Рейтинговый ранг 4 квартал	Рейтинговый ранг 2025 год
			итого	*ИИ*	*КБ*	итого	*ИИ*	*КБ*	итого	*ИИ*	*КБ*								
Республика Татарстан	1	1	1.10	*1.10*	*1.10*	1.10	*1.10*	*1.10*	1.10	*1.10*	*1.10*	0.003	0.70	0.70	0.90	1.20	***8.80***	**1**	**1**
Пензенская область	1	1	1.00	*0.89*	*1.10*	0.78	*0.76*	*0.79*	0.64	*0.41*	*0.86*	0.002	1.00	0.45	1.00	1.00	***7.86***	**2**	**2**
Ростовская область	1	1	1.10	*1.10*	*1.10*	1.10	*1.10*	*1.10*	0.17	*0.07*	*0.27*	0.003	0.96	0.05	0.02	1.20	***6.60***	**3**	**5**
Чувашская Республика	1	1	1.03	*1.03*	*1.03*	0.10	*0.10*	*0.10*	0.05	*0.05*	*0.05*	0.011	1.00	0.80	0.10	1.10	***6.19***	**4**	**4**
Томская область	1	1	0.05	*0.00*	*0.10*	0.03	*0.00*	*0.05*	0.11	*0.17*	*0.05*	0.028	1.00	1.00	0.79	1.10	***6.10***	**5**	**8**
Ленинградская область	1	1	0.12	*0.12*	*0.12*	0.96	*0.81*	*1.10*	0.13	*0.07*	*0.19*	0.004	1.00	0.60	0.20	0.50	***5.51***	**6**	**6**
Ямало-Ненецкий автономный	1	1	1.04	*1.03*	*1.04*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.16	*0.16*	*0.16*	0.000	1.00	0.00	1.00	0.30	***5.49***	**7**	**3**
Липецкая область	1	1	0.47	*0.92*	*0.02*	0.62	*1.10*	*0.14*	0.02	*0.01*	*0.03*	0.003	1.00	0.10	0.10	1.10	***5.41***	**8**	**22**
Калининградская область	1	1	0.74	*0.74*	*0.74*	0.60	*0.60*	*0.60*	0.18	*0.25*	*0.10*	0.034	0.46	0.06	0.00	1.20	***5.27***	**9**	**9**
Сахалинская область	1	1	1.06	*1.01*	*1.10*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.10	*0.10*	*0.10*	0.043	0.91	0.30	0.22	0.40	***5.03***	**10**	**19**
Новгородская область	1	1	0.99	*0.99*	*0.99*	1.10	*1.10*	*1.10*	0.06	*0.06*	*0.06*	0.038	0.56	0.09	0.00	0.20	***5.03***	**10**	**7**

Окончание табл. 1

Субъект	Меры господдержки	Инфобезопасность	Обучение РОИВ			Обучение подведов			Обучение предприятий			Использование ФГИС	Автоматизация	Роботизация	ИИ на предприятиях	Технологии точного земледелия	Суммарный балл 4 квартал	Рейтинговый ранг 4 квартал	Рейтинговый ранг 2025 год
			итого	*ИИ*	*КБ*	итого	*ИИ*	*КБ*	итого	*ИИ*	*КБ*								
Волгоградская область	1	1	0.05	*0.10*	*0.00*	0.24	*0.47*	*0.00*	0.11	*0.11*	*0.11*	0.002	0.87	0.76	0.53	0.00	***4.56***	**12**	**10**
Московская область	1	1	0.30	*0.44*	*0.16*	0.20	*0.29*	*0.11*	0.01	*0.03*	*0.00*	0.008	0.39	0.26	0.10	1.20	***4.48***	**13**	**30**
Кемеровская область – Кузбасс	1	1	0.01	*0.00*	*0.02*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.01	*0.00*	*0.02*	0.007	1.00	0.40	0.10	0.90	***4.43***	**14**	**13**
Хабаровский край	0.6	1	0.16	*0.15*	*0.16*	0.49	*0.77*	*0.21*	0.40	*0.74*	*0.07*	0.004	0.37	0.10	0.30	1.00	***4.42***	**15**	**15**
Костромская область	1	1	0.41	*0.23*	*0.59*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.20	*0.15*	*0.25*	0.004	1.00	0.02	0.27	0.50	***4.41***	**16**	**11**
Нижегородская область	1	1	0.09	*0.06*	*0.12*	0.09	*0.02*	*0.16*	0.06	*0.01*	*0.10*	0.006	0.77	0.07	0.07	1.20	***4.35***	**17**	**17**
Красноярский край	1	1	0.05	*0.03*	*0.08*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.05	*0.00*	*0.10*	0.014	0.91	0.21	0.09	1.00	***4.34***	**18**	**16**
Удмуртская Республика	1	1	0.16	*0.00*	*0.32*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.10	*0.11*	*0.10*	0.009	1.00	0.13	0.01	0.90	***4.31***	**19**	**12**
Пермский край	0.6	1	0.10	*0.10*	*0.10*	0.17	*0.10*	*0.23*	0.20	*0.27*	*0.12*	0.006	0.70	0.90	0.00	0.60	***4.27***	**20**	**48**
Алтайский край	0.8	1	0.01	*0.00*	*0.03*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.005	1.00	0.20	0.00	1.20	***4.22***	**21**	**18**
Тульская область	0.8	1	0.73	*0.43*	*1.03*	0.01	*0.00*	*0.01*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.009	0.43	0.06	0.02	1.10	***4.16***	**22**	**29**
Кировская область	1	1	0.58	*0.40*	*0.76*	0.26	*0.00*	*0.52*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.020	0.60	0.20	0.00	0.50	***4.16***	**22**	**14**
Оренбургская область	1	1	0.62	*0.14*	*1.10*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.00	*0.00*	*0.00*	0.002	1.00	0.00	0.00	0.50	***4.12***	**24**	20

Республика демонстрирует наивысшие результаты практически по всем показателям инфраструктуры и образования. В частности, на официальном сайте регионального профильного министерства наивысший балл (1 из 1) получил раздел качества мер государственной поддержки, а также наличие в штате специалиста по информационной безопасности.

Также заслуживают внимания высокие показатели в области подготовки кадров. Татарстан получил максимум 1,10 балла из 1,10 по всем трем категориям обучения: сотрудники региональной исполнительной власти (РОИ), сотрудники подведомственных органов, а также руководители и сотрудники агропромышленных предприятий региона прошли полную подготовку по программам кибербезопасности и искусственного интеллекта.

Применение технологий в сельскохозяйственном производстве также находится на самом высоком уровне. Регион получил максимум баллов (1,20) за использование технологий точного земледелия. Применение искусственного интеллекта на сельскохозяйственных предприятиях было оценено очень высоко, получив 0,90 балла из 1. Процессы автоматизации и роботизации в агропромышленном комплексе также хорошо развиты, получив 0,70 балла из 1.

Единственной областью роста для Республики Татарстан в этом рейтинге остается уровень взаимодействия с федеральными информационными системами. Так, например, уровень использования API сельскохозяйственными предприятиями для передачи данных в Федеральную государственную информационную систему «Зерно» крайне низок и составляет всего 0,003 балла из 1.

В целом, анализ динамического рейтинга цифровой трансформации сферы АПК, формируемого Министерством сельского хозяйства РФ показывает, что Республика Татарстан создала высокоэффективную основу для цифровой трансформации в агропромышленном секторе, опираясь на всестороннюю подготовку персонала, высокие стандарты информационной безопасности и передовые технологии точного земледелия. Для дальнейшего закрепления этого успеха и повышения общего балла региону следует сосредоточиться на интеграции местных предприятий с ФГИС «Зерно» и другими государственными информационными системами в отрасли.

Далее рассмотрим позиции Республики Татарстан в рейтинге инновационности регионов Российской Федерации в АПК (табл. 2), который был разработан АО «Россельхозбанк» и выпускается ежегодно с 2023 г.

Таблица 2

Рейтинг инновационности регионов Российской Федерации в АПК за 2025 год (20 регионов-лидеров) [12]

Регион	Номер в рейтинге	Агрегированный показатель	Значение группы «Инновации»	Значение группы «Меры поддержки отрасли»	Значение группы «Производственная деятельность»
Республика Татарстан	1	70.9%	18%	21.3%	22.5%
Воронежская область	2	63.2%	10.7%	17%	23.5%
Московская область	3	57.8%	11.3%	21.3%	16.4%
Краснодарский край	4	56.3%	5.1%	17.4%	26.1%
Новосибирская область	5	55.8%	10.2%	20.9%	15.4%

Окончание табл. 1

Регион	Номер в рейтинге	Агрегированный показатель	Значение группы «Инновации»	Значение группы «Меры поддержки отрасли»	Значение группы «Производственная деятельность»
Липецкая область	6	54.8%	8.1%	21.4%	20%
Белгородская область	7	52.3%	8.3%	18%	19.7%
Свердловская область	8	51.4%	9.6%	21.1%	15%
Пензенская область	9	50.8%	8.2%	20.8%	16.8%
Приморский край	10	49.5%	1.9%	20.8%	20.3%
Алтайский край	11	48.4%	4%	21.2%	17%
Иркутская область	12	47.6%	7.6%	21.6%	11.2%
Курская область	13	47.6%	5.8%	17%	20%
Ставропольский край	14	47.5%	4.5%	18.1%	17.6%
Калининградская область	15	46.3%	6.9%	17.9%	17.2%
Красноярский край	16	46.2%	1.4%	20.8%	14.2%
Тамбовская область	17	46.1%	6.6%	20.1%	14.8%
Удмуртская Республика	18	45.4%	7.6%	15.2%	14.3%
Республика Башкортостан	19	45.3%	3.3%	21.2%	13.8%
Калужская область	20	44.3%	6.1%	14.9%	16.4%

Согласно представленному в табл. 2 рейтингу, Республика Татарстан занимает абсолютное лидирующее положение по показателям инновационности АПК. Так по итогам 2025 года регион находится на первом месте с итоговым интегрированным баллом 70,9%, значительно опережая ближайших конкурентов, таких как Воронежская и Московская области.

Анализ динамики демонстрирует высокостабильное развитие агропромышленного комплекса республики. Татарстан уверенно удерживает первое место, сохраняя лидерство по сравнению с результатами 2024 года. Это свидетельствует о системной, устойчивой и эффективной работе в области внедрения передовых решений в региональный АПК.

По данным исследования (табл. 2), успех региона основан на нескольких ключевых факторах. Наиболее важным из них является высокая готовность к сотрудничеству с институтами развития Республики Татарстан. Регион также успешно внедрил и активно использует механизмы поддержки сельскохозяйственных производителей. Надежной основой для инноваций служит высокая финансовая вовлеченность, отраженная в значительных инвестициях в основной капитал сельскохозяйственных предприятий.

Авторы рейтинга уделяют особое внимание экосистеме технологического предпринимательства. В Татарстане расположено большое количество специализированных стартапов, и реализуются многочисленные специализированные программы для их поддержки и развития, особенно в агропромышленном комплексе.

Однако следует отметить один нюанс: несмотря на абсолютное лидерство в общем рейтинге, Республика Татарстан не входит в тройку лидеров по уровню проникновения нишевых цифровых услуг Россельхозбанка, отставая от Московской, Воронежской и Ростовской областей. Это свидетельствует о том, что, несмотря на огромную инновационную, финансовую и промышленную базу, регион все еще имеет потенциал для расширения использования отдельных платформенных решений на рынке.

В ходе исследования была проведена оценка конкурентоспособности аграрного сектора экономики пяти ведущих регионов России по объему производства сельскохозяйственной продукции в 2023 году: Краснодарский край (1 место – 6,9% общероссийского производства за 2023 г.), Ростовская область (2 место – 5,3%), Воронежская область (3 место – 4,2%), Белгородская область (4 место – 4,1%), Республика Татарстан (5 место – 3,4%) – рис. 2. Всего на долю этих регионов пришлось 24% производства валовой продукции сельского хозяйства России за 2023 г. Таким образом, данные регионы составляют основу агропромышленного комплекса России, обеспечивая четверть всего сельскохозяйственного производства страны.

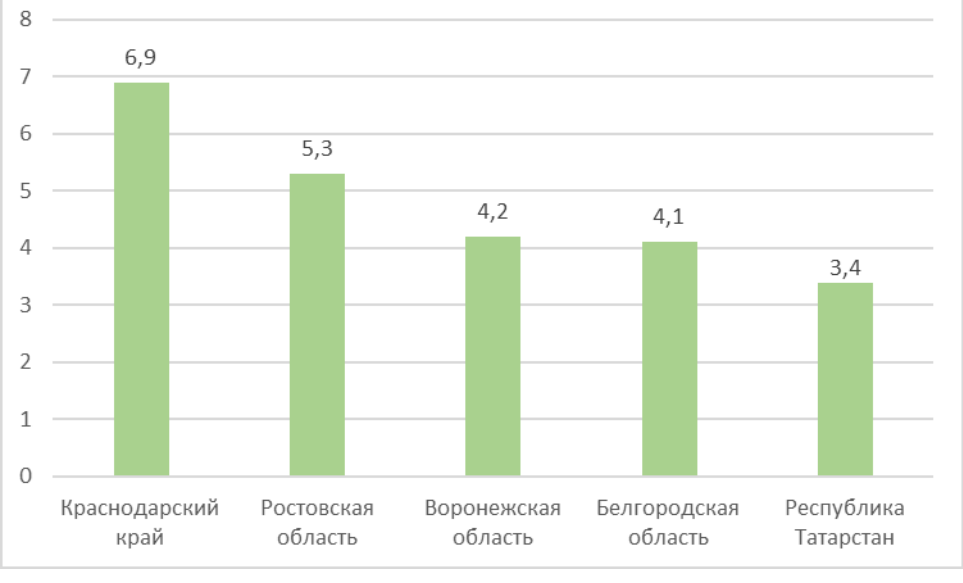


Рис. 1. Пятерка крупнейших регионов – производителей сельскохозяйственной продукции в России по итогам 2023 г., в % к общему производству страны

На наш взгляд, очевидно, что важнейшим фактором конкурентоспособности аграрно-промышленного производства в условиях развития активной фазы шестого технологического уклада является уровень цифровизации. В этой связи методология оценки и управления конкурентоспособностью была дополнена нами индикаторами уровня цифрового развития региона. Уровень цифровизации является системообразующим фактором конкурентоспособности отраслей региональной экономики за счет внедрения технологий искусственного интеллекта, интернета вещей, анализа больших данных, которые способствуют существенному повышению эффективности производства, не только за счет большей автоматизации и роботизации, но и за счет использования современных цифровых технологий в процессе прогнозирования, планирования и контроля производственных процессов в отрасли.

В этой связи ключевой группой показателей в рамках развиваемой нами методологии оценки конкурентоспособности регионального агропромышленной комплекса является уро-

вень цифрового развития территории. В табл. 3 представлены показатели индекса цифрового развития исследуемых регионов по данным за 2023 г.

Таблица 3

Расчет показателей индекса цифрового развития исследуемых регионов по данным за 2023 г.

Регион из группы	Использование цифровых технологий в организациях, от общего количества в %	Затраты на внедрение и использование цифровых технологий от ВРП, %	Использование электронного документооборота в организациях, % от общего количества	Индекс цифрового развития
Белгородская область	20,8	1,07	61,7	0,725
Воронежская область	19,8	0,93	60,0	0,470
Республика Татарстан	18,6	1,73	53,7	0,455
Ростовская область	18,7	0,94	57,0	0,228
Краснодарский край	18,6	0,96	49,1	0,012

Источник: Федеральная служба государственной статистики России https://rosstat.gov.ru; авторские расчеты.

Исходя из предоставленной таблицы, в которой демонстрируются показатели индекса цифрового развития исследуемых регионов России по данным за 2023 г., можно сделать несколько важных выводов о состоянии цифровой трансформации в этих регионах.

Белгородская область занимает лидирующее место по всем показателям конкурентоспособности, связанным с использованием цифровых технологий. В данном регионе показатель использования цифровых технологий в организациях, от общего количества составляет 20,8%. Особый интерес представляет такой показатель как доля расходов на внедрение и использование цифровых технологий, который составил 1,07% валового регионального продукта Белгородской области в 2023 г. Это свидетельствует об активном инвестировании Белгородской области в цифровую инфраструктуру и технологии, что, несомненно, способствует более высокому уровню цифровизации по сравнению с другими регионами Российской Федерации.

Уровень использования электронного документооборота в Белгородской области самый высокий среди всех анализируемых регионов – 61,7%. Электронная система документооборота, позволяет существенно повысить эффективность деятельности сельскохозяйственных предприятий в регионах. В свою очередь, индекс цифрового развития составляет 0,725, что также выделяет регион как наиболее успешный в аспекте цифровой трансформации за 2023 г. среди группы исследуемых регионов.

Воронежская область находится на втором месте рейтинга с показателем использования цифровых технологий в 19,8%, и хотя доля затрат на цифровизацию составляет 0,93% от ВРП, уровень электронного документооборота достигает 60%. Тем не менее, индекс цифрового развития составляет лишь 0,470, что говорит о необходимости дальнейших улучшений в этой области.

Предприятия Республики Татарстан демонстрируют уровень использования цифровых технологий в 18,6%, однако данный уровень сопровождается значительно более высокими затратами на внедрение цифровых технологий, которые составляют 1,73% от ВРП. Это может указывать на то, что высокие затраты на цифровизацию экономики региона не в полной мере оправдываются результатами в плане фактической цифровизации, поскольку индекс цифрового развития находится на уровне 0,455.

Ростовская область и Краснодарский край показывают схожие результаты, где процент организаций, использующих цифровые технологии, ниже и составляет 18,7% и 18,6% соответственно. Их показатели затрат на внедрение цифровых технологий и уровень электронного документооборота также остаются ниже средних по другим регионам. Наименьший индекс цифрового развития демонстрирует Краснодарский край (0,012), что указывает на низкую эффективность использования и внедрения цифровых технологий экономике данного региона.

Подводя итоги можно отметить, что главными конкурентами Татарстана являются регионы Северо-Кавказского и Центрально-черноземного экономических районов, прежде всего Краснодарский край, а также Ростовская, Белгородская и Воронежская области. Эти территории обладают значительными природными и климатическими преимуществами, позволяющими им собирать рекордные объемы зерновых и масличных культур с меньшими затратами. Климат Среднего Поволжья подвержен значительной изменчивости, а периодические засухи могут оказывать негативное влияние на общее производство сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, перспективы Республики Татарстан занять первое место среди регионов России по производству сельскохозяйственной продукции ограничены естественными климатическими преимуществами южных и черноземных регионов России. Однако лидирующие позиции в области цифровизации дают Республики Татарстан очень важное конкурентное преимущество в условиях цифровой модели экономического развития. Так регион имеет все возможности для сохранения своего бесспорного лидерства в молочной промышленности и дальнейшего укрепления своих позиций среди трех лучших сельскохозяйственных регионов страны. Ориентация на инновации, повышение производительности труда и развитие высокотехнологичных перерабатывающих отраслей делает агропромышленный комплекс Республики Татарстан одним из самых устойчивых, прибыльных и динамично развивающихся в России.

Список литературы

1. Цифровые технологии в сельском хозяйстве: монография / В. И. Хоружий, А. В. Уколова, В. В. Демичев, А. Е. Ульянкин, Д. В. Быков, А. С. Невзоров, К. А. Козлов, А. Д. Молошникова, З. А. Григораш [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (5.15 Мб). – Москва : Издательство РГАУ–МСХА, 2024. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). – Систем. требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows XP; SVGA с разрешением 1024×768; AdobeAcrobat; CD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с экрана

2. Субаева А. К. Техническая и технологическая модернизация сельского хозяйства в условиях цифровой экономики: Монография / А. К. Субаева. – Казань: Казанский ГАУ, 2023. – 308 с.

3. Перспективы цифровой трансформации сельского хозяйства: монография / М. А. Жукова, А. В. Улезько. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – 179 с.

4. Цифровая трансформация сельского хозяйства: от глобального до регионального уровня / А. С. Щербакова, В. А. Иванов, И. С. Мальцева, А. В. Озаровская // Journal of Agriculture and Environment. – 2024. – № 11 (51). – DOI 10.60797/JAE.2024.51.10.

5. Цифровая трансформация сельских территорий в условиях инновационного развития Западного сектора российской Арктики / Е. Н. Богданова, А. А. Сабуров, О. В. Минчук, А. С. Никифоров // Арктика и Север. – 2024. – № 57. – С. 5-33.

6. Digitalization in Agricultural Sector: Agriculture 4.0 for Sustainable Agriculture / J. Vapa Tankosić, B. Mirjanić, R. Prodanović [et al.] // Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management (JATEM). – 2024. – Vol. 7, № 1. – P. 1036-1042. – DOI 10.55817/geqw8736. – EDN ERTJLZ.

7. Lioutas, E. D. Digitalization of agriculture: A way to solve the food problem or a trolley dilemma? / E. D. Lioutas, Ch. Charatsari, M. De Rosa // Technology in Society. – 2021. – Vol. 67. – P. 101744. – DOI 10.1016/j.techsoc.2021.101744. – EDN PIVAIV.

8. Patel, S. Transforming Indian Agriculture Through Technology: Harvesting Potential Benefits and Challenges of Digitalization in Indian Agriculture Sector / S. Patel, M. Monica, S. Manoharan // Shanlax International Journal of Arts, Science and Humanities. – 2024. – Vol. 11, № S3-Feb. – P. 225-233. – DOI 10.34293/sijash.v11is3-feb.7268. – EDN BODSKO.

9. Методические подходы к управлению конкурентоспособностью аграрного сектора региона на основе цифровизации / М. Р. Сафиуллин, А. Р. Шарапов, Л. А. Ельшин, К. Р. Сауба-нов // Вестник аграрной науки. – 2025. – № 5(116). – С. 120-134. – DOI 10.24412/2587-666X-2025-5-120-134. – EDN HEXUCU.

10. Саубанов, К. Р. Особенности цифровизации регионального агропромышленного комплекса (на примере Республики Татарстан) / К. Р. Саубанов, Л. А. Ельшин // Академическая наука. – 2025. – № 2. – С. 179-184. – DOI 10.24412/3034-4042-2025-2-179-184. – EDN VUZFCD.

11. Итоги динамического рейтинга цифровой трансформации сферы АПК в IV квартале 2025 года и в 2025 году в целом / [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации : [сайт]. – URL: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/4e7/1hl3cecxze2l8o0beg2q24t61p9tm1v7.pdf (дата обращения: 10.03.2026).

12. Рейтинг инновационности регионов Российской Федерации в АПК / [Электронный ресурс] // АО «Россельхозбанк»: [сайт]. – URL: https://rshbdigital.ru/agrobit/trands/rejting-innovaczionnosti (дата обращения: 16.03.2026).

УДК 633.34:631.527:004.9

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ АДАПТИВНОСТИ СОРТОВ СОИ

Сафин Р.И., д.с-х.н., профессор, заведующий кафедрой общего земледелия, защиты растений и селекции ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан
ORCID: 0000-0001-6276-5728;
E-mail: radikaf2@mail.ru;
Колесар В.А., к.б.н., доцент;
Сафина Д.Р., аспирант кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

APPLICATION OF DIGITAL METHODS IN ASSESSING THE ADAPTABILITY OF SOYBEAN VARIETIES

Safin R.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of General Agriculture, Plant Protection and Breeding of the Kazan State Agrarian University, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan;
ORCID: 0000-0001-6276-5728;
E-mail: radikaf2@mail.ru;
Kolesar V.A., PhD in Biology, Associate Professor;
Safina D.R., postgraduate student of the Department of General Agriculture, Plant Protection and Breeding of the Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Аннотация

Целью исследований было изучение особенностей формирования продуктивности у сортов сои с различным типом роста с использованием современных цифровых методов и обработки данных. Полевые опыты проводились в Казанском ГАУ в 2024 (засушливый) и 2025 (благоприятный по увлажнению) годах. Изучались две группы сортов сои с разным типом роста – индетерминантные (15 сортов) и детерминантные/полудетерминантные (6 сортов). Корреляционный анализ выявил принципиальные различия в стратегиях формирования урожайности между группами. У индетерминантных сортов все изученные биометрические и фитопатологические показатели показали отрицательную связь с урожайностью, причем наиболее сильные корреляции отмечены для септориоза листьев (r = –0,706-0,795) и высоты прикрепления нижнего боба (r = –0,567-0,769). У детерминантных сортов число бобов на растении стабильно положительно коррелировало с урожайностью (r = +0,568-0,537), что свидетельствует о значении данного показателя при селекции сортов данной группы. Для анализа рубчика семени сои разработан метод цифровой обработки изображений с использованием искусственного интеллекта на основе архитектуры U-Net с бэкбоном ResNet-34, обеспечивающий высокую точность (IoU > 0,90) и воспроизводимость (CV < 5%). У индетерминантных сортов наибольшая корреляция отмечена между длиной рубчика и урожайностью (r = +0,470) и массой 1000 семян (r = +0,619), тогда как у детерминантных – между шириной рубчика и урожайностью (r = +0,643). Оценка экологической пластичности показала, что индетерминантные сорта формировали более высокую среднюю урожайность (1,321 т/га) по сравнению с детерминантными (1,206 т/га), но имели более низкий коэффициент экологической пластичности (b_i = 0,874 против 0,997), что указывает на их экстенсивный тип и лучшую адаптивную способность в условиях стрессов. Полученные результаты позволяют дифференцировать селекционные подходы к созданию сортов сои в зависимости от их типа роста.

Ключевые слова: соя, тип роста, индетерминантный, детерминантный, корреляционный анализ, рубчик семени, цифровой анализ изображений, экологическая пластичность

Abstract

Objective of the study was to investigate the patterns of productivity formation in soybean varieties with different growth types using modern digital methods and data processing. Field experiments were conducted at the experimental fields of Kazan State Agrarian University in 2024 (dry year) and 2025 (favorable moisture conditions). Two groups of soybean varieties with different growth types were studied – indeterminate (15 varieties) and determinate/semi-determinate (6 varieties). Correlation analysis revealed fundamental differences in yield formation strategies between the groups. In indeterminate varieties, all studied biometric and phytopathological traits showed a negative correlation with yield, with the strongest correlations observed for septoria leaf blight (r = –0.706–0.795) and the lower pod attachment height (r = –0.567–0.769). In determinate varieties, the number of beans per plant was consistently positively correlated with yield (r = +0.568–0.537), indicating the importance of this trait in breeding programs for this group. For the analysis of the soybean seed hilum, a digital image processing method was developed using artificial intelligence based on the U-Net architecture with ResNet-34 backbone, providing high accuracy (IoU > 0.90) and reproducibility (CV < 5%). In indeterminate varieties, the highest correlation was found between hilum length and yield (r = +0.470) and 1000-seed weight (r = +0.619), while in determinate varieties, it was between hilum width and yield (r = +0.643). The assessment of ecological plasticity showed that indeterminate varieties produced a higher average yield (1.321 t/ha) compared to determinate varieties (1.206 t/ha), but had a lower ecological plasticity coefficient (b_i = 0.874 vs. 0.997), indicating their extensive type and better adaptive capacity under stress conditions. The obtained results allow to differentiate breeding approaches for developing soybean varieties depending on their growth type.

Keywords: soybean, growth type, indeterminate, determinate, correlation analysis, seed hilum, digital image analysis, ecological plasticity

В условиях роста потребности в растительном белке и жирах соя сохраняет свое значение как одной из наиболее важных мировых сельскохозяйственных культур, имеющих важнейшее значение и для Российской Федерации [1]. В последние годы отмечается устойчивый рост посевных площадей и валовых сборов и в Республике Татарстан [2]. Особое значение в повышении продуктивности и улучшении качественных характеристик зерна культуры занимает селекция новых сортов, максимально адаптированных для конкретных агроклиматических условий [3]. В современных условиях все большее значение в процессе создания новых сортов сельскохозяйственных культур занимают методы математического моделирования и активного использования информационных технологий, что привело к возникновению и широкому развитию такого направления, как цифровая селекция (digital breeding) [4, 5]. При разработке таких моделей активно используются различные методы, в том числе с применением методов цифрового фенотипирования, динамического программирования и искусственного интеллекта [6, 7]. При разработке таких подходов необходима оценка результатов сортоиспытания сортов в конкретных условиях с целью получения соответствующих материалов с последующей их обработкой с использованием различных методов анализа больших данных [8]. Для сои существуют различия между сортами по типу роста (детерминантный, индетерминантный, промежуточный), что обусловлено соответствующими генами [9] и оказывает значительное влияние на различные морфоструктурные показатели, а также на урожайность и качество продукции [10].

Целью исследований было изучение особенности формирования продуктивности у сортов сои с различным типом роста с использованием современных цифровых методов исследований.

Методика исследований

Исследования проводились на территории опытных полей ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ» в 2024 г. (засушливый) и 2025 г. (благоприятный по увлажнению). Изучались две группы сортов сои: 1. *Индетерминантные сорта* (1. Миляуша; 2. Лидия; 3. Сентябринка; 4. Статная; 5. Везелица; 6. ЭН Аргента; 7. ЭН Аргумент; 8. Василиса; 9. ЭН Акцент; 10. СК Артика; 11. Алпетра; 12. Натали; 13. СК Ава; 14. Дуэт; 15. Самец); 2. *Детерминантные и полудетерминантные сорта* (1. Самер 3; 2. Кружевница; 3. Золотница; 4. Форос; 5. ЕС Фавор; 6. Ласточка).

Почва опытного участка – серая лесная, среднесуглинистая.

Агротехнология возделывания сои – стандартная (схема посева с междурядьями 15 см, норма высева – 800 тыс. шт./га). По основным фазам развития сои проводились биометрические и фитопатологические анализы, а также определялись урожайность и качество продукции. Расчет экологической пластичности сортов проводился по общепринятым методикам.

Результаты исследований

Для оценки роли различных биометрических показателей в формировании различных урожайности сортов сои с разным типом роста был проведен корреляционный анализ, результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции урожайности сои с различными биометрическими и фитопатологическими показателями, 2024-2025 гг.

Показатель оценки	Тип роста сои	
	индетерминантный	детерминантный и полудетерминантные
Высота растений сои в фазу бутонизации-цветения, см	-0,371/-0,354*	+0,651/-0,630
Число бобов на 1 растение сои, шт.	-0,641/-0,709	+0,568/+0,537

Окончание табл. 1

Показатель оценки	Тип роста сои	
	индетерминантный	детерминантный и полудетерминантные
Высота прикрепления нижнего боба, см	-0,567/-0,769	+0,043/-0,778
Развитие корневых гнилей (фаза бутонизация-цветение)	-0,608/-0,644	–0,545/–0,424
Развитие септориоза листьев сои (фаза цветения)	-0,706/-0,795	+0,109/-0,524

Примечание: *– в числители показатели за 2024 год (засушливый), в знаменателе показатели за 2025 год (благоприятный). ** – жирным выделены значения достоверные при P=0,05.

Результаты оценки показали, что между сортами с различными типами роста отмечаются определенные различия, особенно заметные в условиях засушливого 2024 г. Так для индетерминантных сортов, независимо от условий года, проявилась отрицательная зависимость изучаемых биометрических показателей и показателей развития болезней с урожайностью. По всей видимости, неограниченный рост растения оказывает влияние как биометрические показатели, так и на устойчивость к микозам. Для сортов с ограниченным ростом в засушливых условиях урожайность положительно коррелировала с высотой растений и числом бобов на растении. В то же время для данных сортов, в благоприятном 2025 г. корреляция с урожайностью для большинства показателей (за исключением числа бобов) была отрицательной.

Полученные результаты позволяют дифференцировать подходы к селекции различных сортов сои в зависимости от их типа роста.

Для формирования урожайности сои существенное значение имеет рубчик (hilum), через которое в семя поступают питательные вещества. Для определения площади рубчика семян сои использовали метод цифрового анализа изображений с последующей обработкой с помощью искусственного интеллекта. Из средней фракции семян для каждого сорта отбирали по 25 семян, которые раскладывали в ячейки специальной платы строго рубчиком вверх и фотографировали в стандартизированных условиях (макро-камера с разрешением не менее 20 Мп, кольцевой LED-осветитель с цветовой температурой 5500–6500 K, фиксированное расстояние до объекта и ручная фокусировка) в формате RAW с последующей калибровкой масштаба по эталонной линейке. Полученные изображения подвергали предварительной обработке (баланс белого, шумоподавление), после чего сегментацию рубчика выполняли с помощью предварительно обученной нейросетевой модели архитектуры U-Net с бэкбоном ResNet-34, которая для каждого семени формировала бинарную маску области рубчика, что позволяло автоматически вычислять его площадь в пикселях с последующим пересчётом в мм^2. Постобработка включала удаление мелких артефактов с помощью морфологических операций, а верификацию метода проводили по показателям повторяемости (коэффициент вариации внутри одной съёмки < 3%), воспроизводимости (CV между разными операторами и днями < 5%) и точности сегментации (Intersection over Union > 0,90 относительно ручной разметки); для каждого сорта рассчитывали среднее арифметическое, стандартное отклонение и коэффициент вариации по 25 семенам. Предложенный подход обеспечивает высокую производительность (обработка до 25 семян за одну минуту), объективность и воспроизводимость измерений, что делает его пригодным для скрининга селекционного материала и физиологических исследований семян сои. Результаты оценки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели площади рубчика семени сои и ее связь с показателями продуктивности, 2024-2025 гг.

Показатель оценки	Тип роста сои	
	индетерминантный	детерминантный и полудетерминантные
Площадь рубчика, мм^2	2,33 (V*=32%)	2,32 (V*=17,7%)
Коэффициент корреляции с урожайностью	–0,344	+0,582
Коэффициент корреляции с массой 1000 семян	–0,069	–0,062
Длина рубчика, мм	2,78 (V*=20,9%)	2,78 (V*=6,6%)
Коэффициент корреляции с урожайностью	+0,470	+0,376
Коэффициент корреляции с массой 1000 семян	+0,619	–0,396
Ширина рубчика, мм	1,01 (V*=17,1%)	1,07 (V*=15,3%)
Коэффициент корреляции с урожайностью	–0,269	+0,643
Коэффициент корреляции с массой 1000 семян	–0,566	+0,133

Примечание: * V – коэффициент вариации.

Анализ данных показал значительные отличия между группами сортов. По всем показателям геометрии рубчика (длина, ширина, площадь) наиболее стабильные показатели были у сортов с ограниченным типом роста в сравнении с индетерминантными сортами. Для сортов с неограниченным типом роста (индетерминантный тип) наибольшая корреляция урожайности и массы 1000 семян была со значениями длины рубчика, тогда как для сортов с ограниченным типом – с шириной рубчика. Если для сортов первого типа зависимость урожайности от показателя площади рубчика отрицательная, то для второй – положительная.

Проведенный анализ показал возможность использования методов цифровой обработки данных при анализе рубчика семени для оценки сортов сои с разным типом роста.

Для характеристики экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур используются комплексы показателей, расчет их представлен в табл. 3.

Таблица 3

Показатели экологической пластичности сортов сои с разным типом роста, 2024-2025 гг.

Показатель оценки	Тип роста сои	
	индетерминантный	детерминантный и полудетерминантные
Средняя урожайность, т/га	1,321	1,206
Коэффициент вариации урожайности, %	41,1	42,8
Коэффициент экологической пластичности (b_i)	0,874	0,997

Индетерминантные сорта формировали более высокую урожайность (на 9,5%), чем сорта с ограниченным типом роста. В тоже время, у обеих групп сортов отмечается высокие значения коэффициента вариации урожайности, что связано с контрастными условиями 2024 и 2025 гг. По показателю коэффициента экологической пластичности сорта с ограниченным типом имеют более высокие значения, чем индетерминантные, что свидетельствует о более выраженных экстенсивных признаках.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Между сортами сои с разными типами роста имеются различия по реакции на условия увлажнения вегетации, с точки зрения биометрических показателей и устойчивости к болезням. Для сортов индетерминантной группы, независимо от года, отмечается отрицательная корреляция всех показателей с урожайностью, причем наиболее сильной она была для септориоза (r = −0,706-0,795) и высоты прикрепления боба (r = −0,567-0,769). У детерминантных и полудетерминантных сортов число бобов стабильно положительно коррелирует с урожайностью (r = +0,568-0,537) независимо от года исследований, а отрицательная корреляция с развитием септориоза сильнее проявляется в благоприятных по увлажнению условиях.

2. Разработанная методика цифровой оценки рубчика семян сои позволяет проводить быстрый анализ его геометрических параметров (площади, длины и ширины). Для сортов с неограниченным типом роста (индетерминантный тип) наибольшая корреляция урожайности и массы 1000 семян (r = +0,470 и +0,619) была со значениями длины рубчика, тогда как для сортов с ограниченным типом – с шириной рубчика (r = +0,643). Разработанная методика может быть использована в селекционной оценке.

3. Сорта индетерминантного типа отличались большей (на 9,5%) урожайностью, чем сорта с ограниченным типом. Однако у детерминантных сортов значения коэффициента экологической пластичности были в 1,14 раза выше.

Список литературы

1. Ананьева, Т. В. Тенденции производства сои в мире и России: сравнительный анализ / Т. В. Ананьева, О. В. Серебрякова // Достижения науки и техники АПК. – 2025. – Т. 39, № 2. – С. 80-86. – DOI 10.53859/02352451_2025_39_2_80.

2. Фадеева, А. Н. Формирование структуры посева и продуктивности растений сои северного экотипа при разных способах посева в условиях лесостепи среднего Поволжья / А. Н. Фадеева, Т. Н. Абросимова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15, № 3(59). – С. 49-53. – DOI 10.12737/2073-0462-2020-49-53.

3. Экологическое сортоиспытание сои в Республике Татарстан / К. Д. Шурхаева, А. Т. Хуснутдинова, Т. Н. Абросимова [и др.] // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2024. – № 4 (12). – С. 43-51. – DOI 10.12737/2782-490X-2024-43-51.

4. Столетов, А. И. Перспективы применения искусственного интеллекта в селекции растений / А. И. Столетов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2025. – № 1 (73). – С. 41-48. – DOI 10.31563/1684-7628-2025-73-1-41-48.

5. Lyu J.I., Lee C., Kim M., Jeong H.W., Kim S.L., Baek J.H., Kim K.H. Advances in plant phenomics and digital breeding in Korea // Plant Image Science. – 2025. – Vol. 1. – P. 4. – DOI: 10.65971/PIS.2025.1.4

6. Li G., An L., Yang W. et al. Integrated biotechnological and AI innovations for crop improvement//Nature. – 2025. – Vol. 643. – P. 925–937. – DOI: 10.1038/s41586-025-09122-8.

7. Danilevicz M.F., Upadhyaya S.R., Batley J., Bennamoun M., Bayer P.E. and Edwards D. Understanding plant phenotypes in crop breeding through explainable AI // Plant Biotechnol. J. – 2025. – Vol. 23: 4200-4213. – DOI: 10.1111/pbi.70208

8. Bhuiyan M.M.R., Noman I.R., Aziz M., et al. Transformation of Plant Breeding Using Data Analytics and Information Technology: Innovations, Applications, and Prospective Directions // Frontiers in Bioscience-Elite. – 2025. – Vol. 17, № 1. – P. 27936. – DOI: 10.31083/FBE27936.

9. Xiong S.-S., Guo D.-D., Wan Z., et al. Regulation of soybean stem growth habit: A ten-year progress report // The Crop Journal. – 2023. – Vol. 11, № 6. – P. 1642–1648. – DOI: 10.1016/j.cj.2023.08.002.

10. Расулова, В. А. Оценка морфологических признаков коллекционных образцов сои и их взаимосвязь с хозяйственно важными показателями в условиях Орловской области / В. А. Расулова, С. В. Кирюхин, С. О. Гуринович // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2025. – № 4 (56). – С. 69-78. – DOI 10.24412/2309-348X-2025-4-69-78.

УДК 004.8:631.17

FEDERATED LEARNING FOR DISTRIBUTED CROP YIELD PREDICTION ON SMART FARMS USING HETEROGENEOUS SENSOR DATA

Semenov P.G., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Crop Production and Horticulture, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-4994-5037;
E-mail: sem_pavel_97@mail.ru;
Fusuo Zhang, Professor, National Academy of Agriculture Green Development, China Agricultural University, Beijing, China;
ORCID: 0000-0001-8971-0129;
E-mail: zhangfs@cau.edu.cn

ФЕДЕРАТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ КУЛЬТУР НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ФЕРМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ СЕНСОРНЫХ ДАННЫХ

Семенов П.Г., к.с-х.н., доцент кафедры растениеводства и плодоовощеводства ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-4994-5037;
E-mail: sem_pavel_97@mail.ru;
Чжан Фусо, профессор Национальной академии зеленого развития сельского хозяйства, Китайский сельскохозяйственный университет, г. Пекин, Китай;
ORCID: 0000-0001-8971-0129;
E-mail: zhangfs@cau.edu.cn

Abstract

The paper examines an approach to distributed crop yield prediction on smart farms based on federated learning and heterogeneous sensor data. The relevance of the study is determined by the fact that modern precision agriculture systems generate large local datasets describing soil conditions, weather, plant development and agricultural operations, while transferring these datasets to a single centralized repository increases communication load and creates risks for farm data confidentiality. The proposed architecture trains local models at individual farms and transmits only model parameters to the aggregation server, without moving the original data arrays. The experiments were performed using 48 distributed nodes that generated approximately 8.6 million observations during a 120-150-day agricultural season. Input features included soil moisture and temperature, electrical conductivity, precipitation, solar radiation, crop condition indicators and records of technological operations. The FedAvg algorithm was used for parameter aggregation, while local normalization and adaptive parameter weighting were applied to handle data heterogeneity. The results showed that the federated model achieved a prediction accuracy of 91.8-93.5% with RMSE values of 0.65-0.76 t/ha. Compared with independently trained local models, the error decreased by 18-24%, while the difference from

the centralized model did not exceed 4-6%. The volume of transmitted data was reduced by a factor of 25-30, the global training time decreased to 6-9 h, and total system energy consumption was reduced by 38-52%. Soil moisture, temperature and solar radiation were identified as the most influential variables for yield prediction. The proposed approach can be used to develop scalable yield forecasting systems while preserving farm autonomy and the confidentiality of local production data.

Keywords: federated learning; crop yield prediction; smart farm; sensor data; Internet of Things; precision agriculture; data privacy; artificial intelligence; sustainable agriculture

Аннотация

В работе рассмотрен подход к распределенному прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур на интеллектуальных фермах на основе федеративного обучения и разнородных сенсорных данных. Актуальность исследования связана с тем, что современные системы точного земледелия формируют большие массивы локальных данных о состоянии почвы, погоде, развитии растений и выполненных технологических операциях, однако передача этих данных в единое централизованное хранилище повышает нагрузку на каналы связи и создает риски раскрытия производственной информации. Предложенная архитектура предусматривает обучение локальных моделей на уровне отдельных хозяйств и передачу на сервер только параметров модели, без перемещения исходных массивов данных. Эксперименты выполнены для 48 распределенных узлов, формировавших около 8,6 млн наблюдений за 120-150-дневный сельскохозяйственный сезон. В качестве входных признаков использованы показатели влажности и температуры почвы, электропроводности, осадков, солнечной радиации, состояния посевов и технологических операций. Для агрегации параметров применяли алгоритм FedAvg, а для учета неоднородности данных – локальную нормализацию и адаптивное взвешивание параметров. Полученные результаты показали, что федеративная модель обеспечивала точность прогнозирования 91,8-93,5% при RMSE 0,65-0,76 т/га. По сравнению с локальными моделями ошибка снижалась на 18-24%, а отличие от централизованного варианта не превышало 4-6%. Объем передаваемых данных уменьшался в 25-30 раз, время обучения сокращалось до 6-9 ч, а энергопотребление системы снижалось на 38-52%. Установлено, что наибольший вклад в точность прогноза вносили влажность почвы, температура и солнечная радиация. Предложенный подход может использоваться для построения масштабируемых систем прогнозирования урожайности при сохранении автономности хозяйств и конфиденциальности данных.

Ключевые слова: федеративное обучение; прогнозирование урожайности; интеллектуальная ферма; сенсорные данные; интернет вещей; точное земледелие; конфиденциальность данных; искусственный интеллект; устойчивое сельское хозяйство

Introduction

The development of digital agriculture has changed the way crop productivity is monitored and forecasted. Smart farms increasingly rely on soil sensors, automatic weather stations, remote sensing products, machine vision and records of field operations. These data streams describe the crop production system in greater detail than traditional agronomic observations, but they also make yield prediction more computationally and organizationally complex. Forecasting models must work with different sampling frequencies, uneven spatial resolution, missing values and region-specific production practices.

Most existing yield prediction systems use centralized machine learning. Data from farms or experimental sites are first collected on a central server and then used to train regression, ensemble or neural network models. Such an approach can provide high accuracy for maize, soybean, wheat and other crops when the training set is large and homogeneous [1, 5, 8]. At the same time, centralized learning requires the transfer of full datasets, increases the load on communication channels and reduces the willingness of agricultural enterprises to share production information.

Internet of Things technologies and edge devices make it possible to collect detailed measurements directly in the field, including soil moisture, temperature, electrical conductivity, precipitation and solar radiation [3, 4]. These parameters are agronomically meaningful because they reflect the water, thermal and energy regimes that determine crop growth and grain formation. However, sensor networks deployed in different farms rarely produce identical data distributions. Differences in soil type, crop rotation, management intensity and equipment calibration create a non-independent and non-identically distributed data structure.

Federated learning is a promising solution for such conditions because it allows several participants to train a shared model without exchanging source datasets [2]. In this scheme, each farm trains a local model using its own data, sends only model parameters to the server, and receives updated global parameters after aggregation. This approach is consistent with the principles of privacy-preserving artificial intelligence and can reduce traffic compared with direct transfer of raw sensor records. Recent studies in smart farming, multimodal crop monitoring and weather downscaling confirm the potential of distributed learning approaches for agricultural tasks [6, 7, 9, 10].

The aim of this work was to develop and evaluate a federated learning approach for distributed crop yield prediction on smart farms using heterogeneous sensor data. The study focused on prediction accuracy, communication efficiency, robustness to node failures and the influence of sensor heterogeneity on the stability of the global model.

Methodology

The experimental design included data collection from real and simulated smart farms, preprocessing of sensor streams, local model training on edge nodes, aggregation of model parameters and validation on independent samples. The distributed system consisted of 48 nodes. Each node represented a farm or a field site and generated from 1.2×10^5 to 3.5×10^5 records during a 120-150-day agricultural season. The total data volume was approximately 8.6×10^6 observations. Time series were recorded with a 10-minute resolution, and spatial parameters had a resolution from 5 to 20 m. The methodological scheme followed the principles of decentralized and privacy-preserving model training described for federated learning systems [2, 11].

The sensor layer included Arduino Mega 2560 and Raspberry Pi 4 Model B platforms with LoRaWAN communication modules operating at 868 MHz. Soil properties were measured using Decagon 5TE sensors: volumetric moisture in the range of 0-60%, temperature from -10 to 50 °C and electrical conductivity from 0 to 10 dS/m. Weather information was collected from Davis Vantage Pro2 stations, including wind speed, precipitation and solar radiation. Data packets ranged from 512 to 2048 bytes, and average transmission latency was 50-120 ms.

The software implementation used TensorFlow 2.14, PyTorch 2.1 and the Flower federated learning framework. Local computations were performed on ARM Cortex-A72 processors and NVIDIA Jetson Nano modules, while aggregation was carried out on a server with an Intel Xeon Silver 4210 processor and 64 GB RAM. The basic prediction model was a multilayer neural network with five hidden layers of 128-256-128-64-32 neurons, ReLU activation and L2 regularization with a coefficient of 10^-4.

The yield function was represented as Y = f(X1, X2, ..., Xn), where Y is the predicted yield and Xi are features describing agrometeorological conditions, soil parameters and crop growth indicators. The model was trained by minimizing the root mean square error. The RMSE was calculated as follows:

$$RMSE = sqrt(1/N \times \Sigma(yi - \hat{y}i)^2),$$

where yi is the actual yield value, ŷi is the predicted value and N is the number of observations.

Federated learning was implemented using the FedAvg algorithm. During each training round, 60-80% of nodes participated in the update. Local training was performed for 5-10 epochs with a batch size of 32-64. After local optimization, only model parameters were transmitted to the central server. The transferred volume was 2-5 MB per node per round, which was considerably lower than

the transfer of raw datasets. The aggregation procedure was based on the classical communication-efficient FedAvg approach for decentralized datasets [11].

Data heterogeneity was addressed through local feature normalization $x' = (x - \mu) / \sigma$, where μ and σ were calculated separately for each node. Adaptive weighting was then applied during aggregation to reduce the effect of strongly shifted local distributions. The overall architecture of the proposed system is shown in Figure 1.

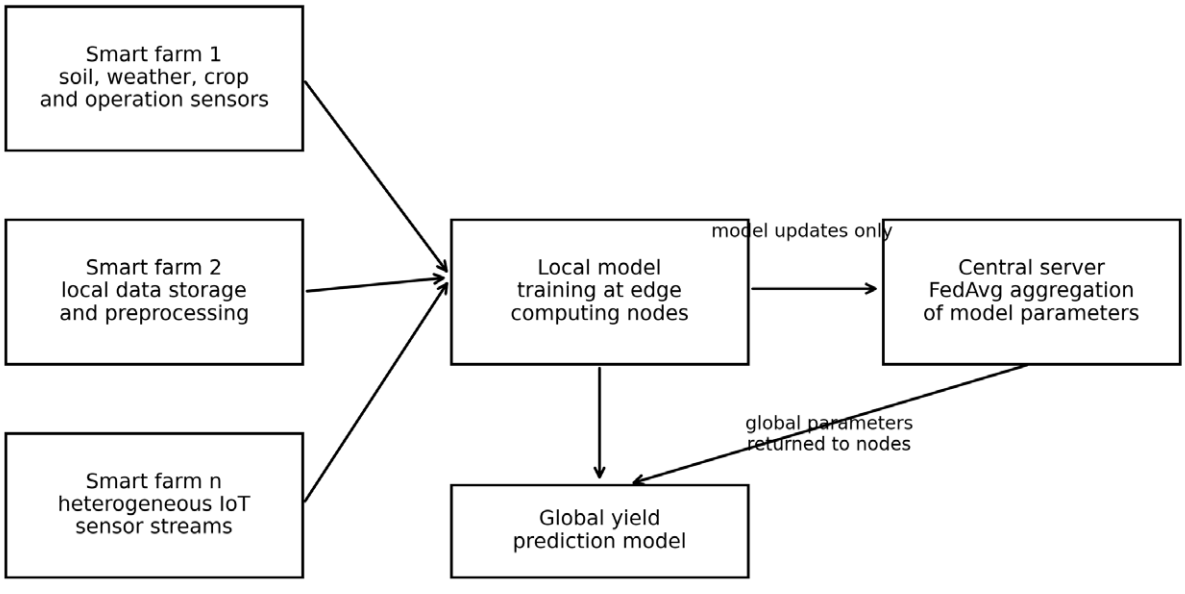


Figure 1. Architecture of federated yield prediction on smart farms

Thus, the methodology combined field-level sensor preprocessing, local model optimization, parameter aggregation and independent validation within a single experimental pipeline. This structure made it possible to compare local, federated and centralized learning under identical input variables and to evaluate not only prediction error, but also communication load, training time and robustness to unstable participation of edge nodes.

Results and discussion

The proposed model demonstrated stable convergence after 70-85 rounds of federated learning. The mean squared error decreased from 7.84 at the beginning of training to 0.42-0.58 depending on region and crop type. The corresponding RMSE values were 0.65-0.76 t/ha. These values were 18-24% better than those obtained for independently trained local models and only 4-6% worse than the centralized model, which used all source data in one repository.

The comparison of learning approaches is presented in Table 1. The table was condensed to avoid repeating similar local node values and to emphasize the difference between the three practical training strategies: isolated local learning, federated learning and full centralization.

Table 1

Performance comparison of different learning approaches

Model type	RMSE, t/ha	R^2	Transferred data, GB	Training time, h
Local models, range	0.81-1.05	0.78-0.86	2.1-2.6 per node	2.5-3.0
Local models, mean	0.90	0.84	2.4 per node	2.8
Federated learning, 40 rounds	0.81	0.88	72	5.8

Окончание табл. 1

Model type	RMSE, t/ha	R^2	Transferred data, GB	Training time, h
Federated learning, 80 rounds	0.70	0.92	145	7.2
Federated learning, 120 rounds	0.66	0.935	182	8.5
Centralized model, range	0.58-0.62	0.94-0.95	5200-5800	16.0-18.0
Centralized model, mean	0.60	0.946	5525	17.1

The coefficient of determination for the federated model reached 0.91-0.935, whereas local models showed values from 0.78 to 0.86. This indicates that parameter exchange between farms improved the explanatory power of the model even when the original data were not transferred. The convergence curve in Figure 2 shows that most of the improvement occurred during the first 60-80 rounds, after which the model approached a stable error level.

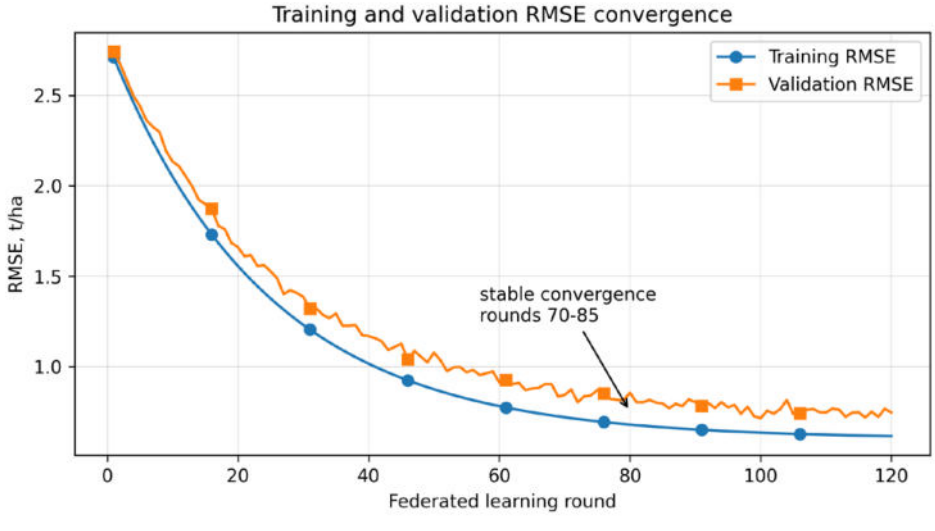


Figure 2. Training and validation RMSE convergence during federated learning

The accuracy dynamics also showed that centralized learning remained slightly more accurate in the early rounds, but the gap decreased as federated aggregation accumulated information from more participants. This is shown in Figure 3. The final accuracy of the federated model reached 0.935, which is sufficient for practical decision support in crop management when the privacy and traffic advantages are taken into account.

The number of edge devices affected prediction stability. Increasing the number of nodes from 16 to 64 improved accuracy by 3.5-5.8%, while a further increase to 96 nodes produced only a limited gain of 1.2-1.6%. Figure 4 illustrates that the effect of node number is not strictly linear. The practical interpretation is that after the model receives enough diversity from several dozen farms, additional nodes mainly improve robustness rather than sharply increasing accuracy.

The influence of heterogeneous data and normalization is summarized in Table 2. Without distribution alignment, the KL divergence between local and global distributions was 0.36-0.52, and RMSE values reached 0.88-1.08 t/ha. After local normalization and adaptive parameter weighting, KL divergence decreased to 0.08-0.14, while RMSE decreased to 0.65-0.74 t/ha.

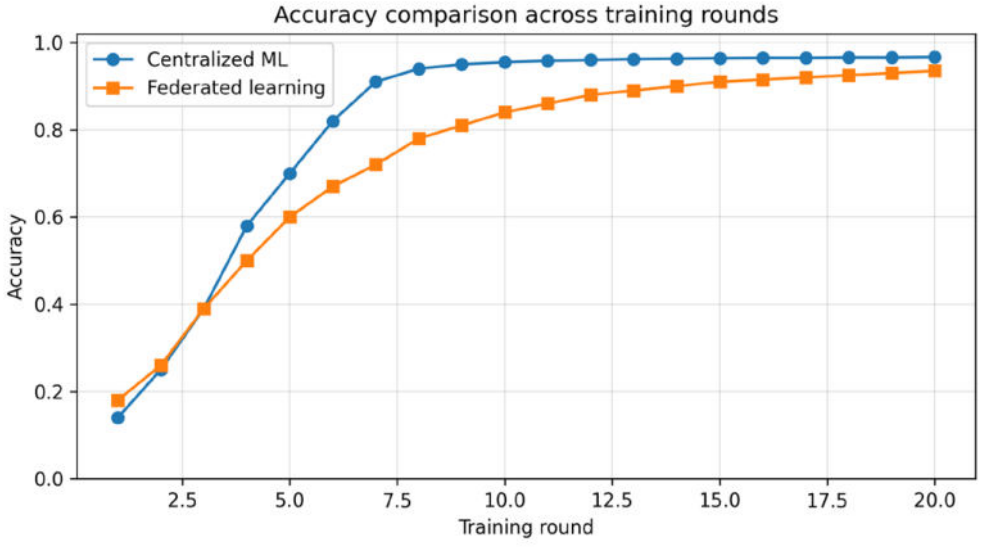


Figure 3. Accuracy comparison between centralized and federated learning

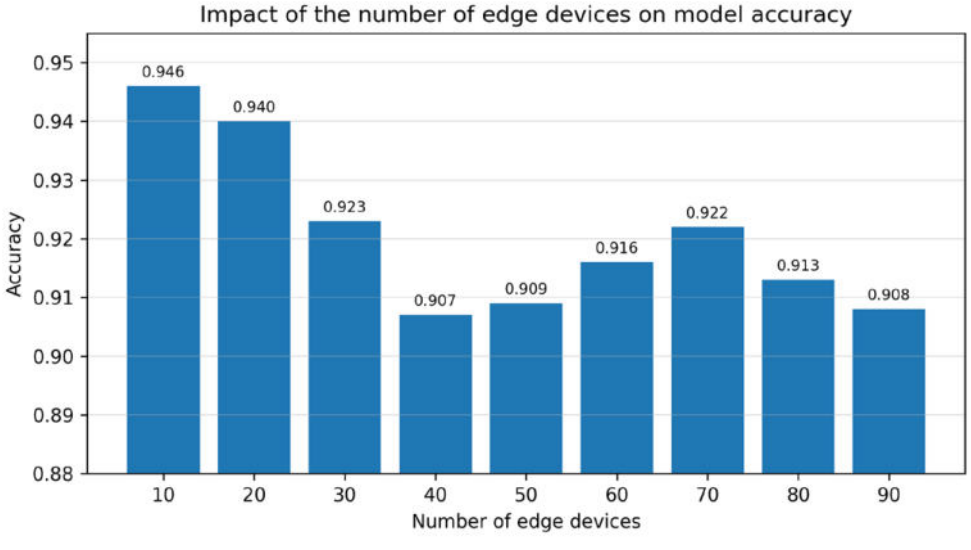


Figure 4. Impact of the number of edge devices on model accuracy

Table 2

Impact of data heterogeneity and normalization on model performance

Scenario	KL divergence	RMSE, t/ha	R^2	Variance
Raw heterogeneous data, range	0.36-0.52	0.88-1.08	0.78-0.87	0.19-0.28
Raw heterogeneous data, mean	0.43	0.97	0.829	0.235
Normalized data, range	0.08-0.14	0.65-0.74	0.90-0.936	0.08-0.12
Normalized data, mean	0.104	0.688	0.921	0.098
Improvement after normalization	3.5-4.5 times lower	20-25% lower	+0.09 to +0.14	about 2.4 times lower

The training dynamics of centralized, federated and local learning are compared in Figure 5. Local site-specific models were more unstable because they reflected the conditions of individual farms. The global federated model followed the trajectory of the centralized model more closely, while avoiding direct data centralization. This confirms that model synchronization can compensate for part of the information loss caused by restricted data exchange.

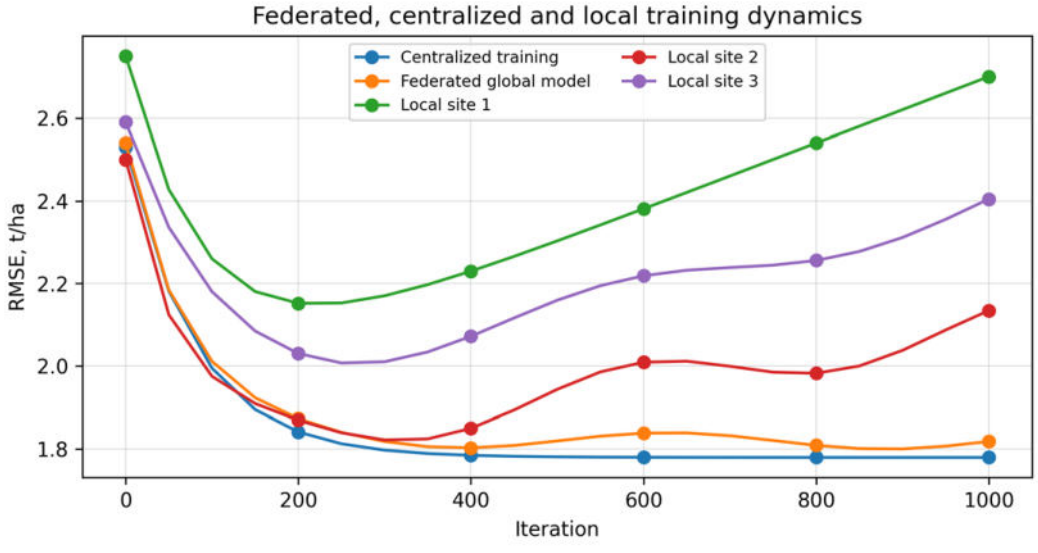


Figure 5. Comparison of federated, centralized and local training dynamics

The system was also tested for scalability, resource efficiency and node failures. With 48 nodes and 80% active participation, RMSE was 0.68 t/ha, power consumption was approximately 240 W and latency was about 110 ms. Reducing the share of active nodes from 80% to 50% increased RMSE from 0.68 to 0.73 t/ha, but reduced the load on communication channels. A random failure of 30% of nodes increased RMSE to 0.76 t/ha, which still remained acceptable for operational yield forecasting.

Table 3

System scalability, robustness and resource efficiency

Scenario	Active nodes, %	RMSE, t/ha	Energy consumption, W	Latency, ms
16 nodes	80	0.78	120	140
32 nodes	80	0.72	180	120
48 nodes	80	0.68	240	110
64 nodes	80	0.66	280	100
96 nodes	80	0.64	350	95
48 nodes	50	0.73	180	130
Failure of 20% nodes	64	0.72	210	130
Failure of 40% nodes	48	0.80	170	160

The reduction in communication load was one of the most important practical results. The centralized model required the transfer of 5.2×10^3-5.8×10^3 GB of raw data, whereas the federated model transferred approximately 1.8×10^2 GB of model parameters during the full training process. Thus, the volume of transmitted information decreased by 25-30 times. Average data transfer latency decreased from 280-350 ms to 90-140 ms.

Heterogeneous sensor data improved forecasting compared with the use of meteorological variables only. The largest contributions to model accuracy were associated with soil moisture (28-34%), temperature (22-27%) and solar radiation (15-19%). Removing one of these variables increased RMSE by 0.12-0.25 t/ha. The model maintained 85-90% accuracy for a 30-45-day forecast horizon and 78-83% accuracy for a horizon of up to 60 days. Independent testing on data from other regions showed RMSE of 0.72-0.81 t/ha and R^2 of 0.88-0.91, confirming acceptable transferability across agroclimatic conditions.

Conclusions

The study confirmed the effectiveness of federated learning for distributed crop yield prediction under conditions of heterogeneous sensor data. The proposed approach achieved prediction accuracy of 91.8-93.5% with RMSE values of 0.65-0.76 t/ha. Compared with local models trained independently at each node, the error decreased by 18-24%, while the difference from centralized learning did not exceed 4-6%.

The main advantage of the method is the ability to train a shared model without transferring raw farm data. The total volume of transmitted information decreased by 25-30 times, and the training time was reduced to 6-9 h due to parallel local processing. The model remained robust when the number of active nodes decreased and when part of the nodes failed.

Normalization and adaptive parameter weighting were important for working with non-identically distributed data. These procedures reduced KL divergence from 0.38-0.52 to 0.08-0.14 and decreased prediction error by 20-25%. Soil moisture, temperature and solar radiation were the most informative features for yield forecasting.

The proposed architecture can be used in smart agriculture systems where farms need to cooperate in model training while preserving local autonomy and data confidentiality. Further research should focus on field validation for specific crops, integration with remote sensing products and testing of the model under different levels of sensor failure and missing data.

References

1. Zhang Q., Zhao X., Han Y., Yang F., Pan S., Liu Z., Wang K., Zhao C. Maize yield prediction using federated random forest // Computers and Electronics in Agriculture. – 2023. – Vol. 210. Art. № 107930. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107930.

2. Gupta S., Arora S., Qamar S. Federated Learning in Smart Farming: Applications and Challenges // Advances in Science, Technology and Innovation. – 2025. Part F772. – P. 121-146. DOI: 10.1007/978-3-031-80949-1_7.

3. Alahmad T., Neményi M., Nyéki A. Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review // Agronomy. – 2023. – Vol. 13. № 10. Art. no. 2603. DOI: 10.3390/agronomy13102603.

4. Rafi M.A.H., Johora M.F., Rasel M.B., Biswas M.E., Haque M.D., Shahzamal M. Interpretable IoT-Enabled Machine Learning Framework on Optimized Climate Information for Crop Yield and Resource Usage // Communications in Computer and Information Science. – 2025. – Vol. 2681. – P. 152-166. DOI: 10.1007/978-3-032-11335-1_11.

5. Sivaranjani T., Vimal S.P. AI Method for Improving Crop Yield Prediction Accuracy Using ANN // Computer Systems Science and Engineering. – 2023. – Vol. 47. № 1. – P. 154-170. DOI: 10.32604/csse.2023.036724.

6. Kravtsov K.I. Identification of Key Meteorological Drought Factors Using Machine Learning // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2025. – Vol. 1489. – P. 479-489. DOI: 10.1007/978-3-031-96798-6_36.

7. Ji L., Wang X., Dissanayake K., Agehara S., Choi D. AI-Driven Multimodal Framework for Predicting Strawberry Performance and Insights // ASABE Annual International Meeting. – 2025. DOI: 10.13031/aim.202500642.

8. Zuma N.A., Rahman M.S. From Data to Decisions: Crop Yield Prediction Through Tuned XGBoost and Explainable AI // Proceedings of QPAIN 2025. – 2025. DOI: 10.1109/QPAIN66474.2025.11172270.

9. Lee C.-S., Jung C.-Y., Hong J.-B., Park S.-J., Jung J.-O. Interpretable Analysis of Soybean Yield Forecasting Using Attention and SHAP // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2025. – Vol. 15. № 6. – P. 1770-1778. DOI: 10.18517/ijaseit.15.6.21656.

10. Kow P.-Y., Wang Y.-T., Chang Y.-W., Lee M.-H., Yao M.-H., Chang L.-C., Chang F.-J. AI-driven weather downscaling for smart agriculture using autoencoders and transformers // Computers and Electronics in Agriculture. – 2025. – Vol. 232. Art. № 110129. DOI: 10.1016/j.compag.2025.110129.

11. McMahan B., Moore E., Ramage D., Hampson S., y Arcas B.A. Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data // Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS). – 2017. – P. 1273-1282.

УДК 631.12.004

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ АГРОБИЗНЕСА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Субаева А.К., д.э.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-6237-8074;
Александрова Д.З., студент Чистопольского филиала «Восток» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева – КАИ, г. Чистополь, Россия

DIGITAL TRANSFORMATION OF AGRIBUSINESS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Subaeva A.K., Doctor of Economics, Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-6237-8074;
Alexandrova D.Z., student at the Chistopol "Vostok" Branch of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Chistopol, Russia

Аннотация

В текущих реалиях цифровизация отечественного сельского хозяйства становится фундаментальным элементом стратегии развития экономики, ориентированной на инновации. Технология точного земледелия, являющаяся основным инструментом внедрения цифровых решений в агросферу, уже широко применяется в странах с развитым аграрным и технологическим базисом. Однако в России лишь десятая часть сельхозорганизаций системно использует цифровые инструменты. Процесс модернизации крупных агрохолдингов близок к завершению (70–90%), тогда как малый и средний бизнес, а также фермеры часто сталкиваются с нехваткой финансовых, кадровых и иных ресурсов для перехода. На фоне существенных региональных различий и неравномерности охвата технологиями точного земледелия критически возрастает значение региональных органов управления аграрной сферой.

Цель исследования. Систематизация региональных барьеров цифровизации АПК Республики Татарстан и разработка адаптированной модели платформенного управления с учётом дефицита кадров и инфраструктурных ограничений.

Материал и методы исследования. Информационную базу исследования составили:

1. Нормативно-правовые акты РФ и РТ в сфере цифровизации АПК: Указ Президента РФ от 01.12.2016 № 250 «О Стратегии научно-технологического развития РФ»; Постановление

Правительства РФ от 25.08.2017 № 350 «О государственной поддержке развития сельского хозяйства»; Ведомственная программа Министерства сельского хозяйства РФ «Цифровое сельское хозяйство» (2019); Стратегия цифровизации АПК Республики Татарстан (2020).

2. Данные Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан за период 2019–2023 гг. (ведомственная статистика).

3. Финансовая отчётность ведущих агрохолдингов региона (бухгалтерская и статистическая отчётность, формы № 1, № 2, № 5-АПК).

4. Данные пилотных проектов внедрения систем точного земледелия на базе Казанского ГАУ и Чистопольского филиала КНИТУ-КАИ.

Объём выборки: 37 сельскохозяйственных организаций Республики Татарстан.

Методы исследования. Общенаучные методы: анализ, синтез, индукция, дедукция. Специфические методы экономического анализа: сравнительный анализ (сопоставление показателей до и после внедрения цифровых решений); статистическая группировка (группировка организаций по уровню цифровой зрелости); метод экспертных оценок (опрос 37 руководителей и специалистов АПК); корреляционный анализ (оценка связи между внедрением цифровых технологий и экономическими показателями).

Результаты. Установлено, что средняя рентабельность сельхозорганизаций, внедривших элементы точного земледелия, выросла с 12% в 2019 году до 18% в 2023 году (на 4–6 п.п. выше, чем в организациях без цифровых решений). Выявлены ключевые барьеры: недостаток финансирования (68% респондентов), дефицит квалифицированных кадров (57%), нестабильное интернет-покрытие (42%). Предложена авторская модель платформенного управления АПК, обеспечивающая синергетический эффект в виде дополнительных 5–7% роста рентабельности.

Научная новизна заключается в систематизации региональных барьеров цифровизации АПК Татарстана на основе данных ведомственной статистики за 2019–2023 гг., авторской оценке эффективности отечественных программных решений («Агросигнал», Cognitive Pilot) в условиях санкционного давления и разработке адаптированной для республики модели платформенного управления.

Ключевые слова: точное земледелие, цифровая трансформация, инновации, аграрный сектор, цифровые технологии, региональное управление

Abstract

In the current landscape, the digitalization of the domestic agricultural sector is becoming a fundamental element of an innovation-oriented economic development strategy. Precision farming technology–the primary tool for implementing digital solutions in agriculture–is already widely used in countries with advanced agricultural and technological foundations. However, in Russia, only one-tenth of agricultural organizations make systematic use of digital tools. While the modernization process for large agricultural holdings is nearing completion (70–90%), small and medium-sized enterprises and individual farmers often face a lack of the financial, human, and other resources required for this transition. Given the significant regional disparities and uneven adoption of precision farming technologies, the role of regional agricultural management bodies is becoming critically important.

Research Objective. To systematize the regional barriers to the digitalization of the agro-industrial complex (AIC) in the Republic of Tatarstan and to develop an adapted platform-based management model that accounts for personnel shortages and infrastructure constraints.

Research Materials and Methods. The study's information base comprised:

1. Regulatory and legal acts of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan regarding the digitalization of the AIC: Decree of the President of the Russian Federation No. 250 dated December 1, 2016, "On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation"; Resolution of the Government of the Russian Federation No. 350 dated August 25, 2017, "On State Support for Agricultural Development"; the "Digital Agriculture" departmental program of

the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (2019); and the Strategy for the Digitalization of the AIC of the Republic of Tatarstan (2020).

2. Data from the Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Tatarstan for the period 2019–2023 (departmental statistics).

3. Financial statements of leading regional agricultural holdings (accounting and statistical reports; forms No. 1, No. 2, and No. 5-APK).

4. Data from pilot projects implementing precision farming systems, conducted by Kazan State Agrarian University (Kazan GAU) and the Chistopol branch of KNITU-KAI.

Sample size: 37 agricultural organizations in the Republic of Tatarstan.

Research methods. General scientific methods: analysis, synthesis, induction, and deduction. Specific economic analysis methods: comparative analysis (comparing indicators before and after the implementation of digital solutions); statistical grouping (categorizing organizations by level of digital maturity); expert assessment method (surveying 37 agribusiness executives and specialists); and correlation analysis (evaluating the relationship between digital technology implementation and economic performance indicators).

Results. It was found that the average profitability of agricultural organizations implementing precision farming elements rose from 12% in 2019 to 18% in 2023 (4–6 percentage points higher than in organizations without digital solutions). Key barriers were identified: lack of funding (68% of respondents), a shortage of qualified personnel (57%), and unstable internet coverage (42%). A proprietary model for platform-based agribusiness management was proposed, yielding a synergistic effect in the form of an additional 5–7% increase in profitability. The scientific novelty lies in the systematization of regional barriers to the digitalization of Tatarstan's agro-industrial complex based on departmental statistics from 2019–2023, an original assessment of the effectiveness of domestic software solutions (Agrosignal, Cognitive Pilot) amidst sanctions pressure, and the development of a platform-based management model adapted for the republic.

Keywords: precision agriculture, digital transformation, innovations, agricultural sector, digital technologies, regional management

В последнее время точное земледелие, базирующееся на новейших технологических решениях, предоставляет широкие возможности для усиления конкурентоспособности, повышения эффективности и экологической устойчивости сельского хозяйства. Цифровые инструменты, обеспечивающие персонализацию методов обработки почв и возделывания культур, способствуют росту урожайности и рациональному использованию ресурсов. В условиях глобальной нестабильности технологическая отсталость представляет угрозу для конкурентных позиций и продовольственной безопасности страны, что подчеркивает стратегическую важность цифровизации для достижения национальных целей развития России.

Под точным земледелием, которое все чаще называют цифровым, подразумевается совокупность сельскохозяйственных менеджмент-технологий: глобальное позиционирование, оценка урожайности, геоинформационные системы, дистанционное зондирование и переменное нормирование [1]. Анализ данных позволяет принимать более обоснованные управленческие решения, направленные на рост продуктивности, сокращение затрат и обеспечение экологической безопасности.

Теоретические основы точного земледелия были заложены зарубежными учеными в конце XX – начале XXI века. В России концепцию точного земледелия исследовали многочисленные специалисты в области сельского хозяйства, экономики и техники, что свидетельствует о междисциплинарном характере данного направления. Управленческие, экономические, агрономические, кадровые и цифровые аспекты внедрения точного земледелия раскрыты в работах российских ученых, которые рассматривают точного земледелия как целостную систему управления всеми этапами сельскохозяйственного производства [2].

Особенность Республики Татарстан заключается в сочетании развитого аграрного потенциала (сельхозугодья занимают 4,5 млн га, из них пашня – 3,4 млн га) с высоким уровнем технологической инфраструктуры (покрытие интернетом сельских территорий – 78%, что выше среднероссийского показателя на 12 п.п.). Это создаёт предпосылки для опережающей цифровизации АПК, однако сдерживается дефицитом квалифицированных кадров (снижение численности специалистов АПК на 23% за 2019–2023 гг.) и ограниченностью финансовых ресурсов малых форм хозяйствования.

Исследователи сходятся во мнении, что экономическая выгода от внедрения цифровых технологий точного земледелия заключается в оптимизации использования ресурсов. Примеры показывают значительную экономию затрат на удобрения, семена и топливо при локальном внедрении (например, сокращение перекрытий при работе техники), с окупаемостью инвестиций в среднем за два года. Полный экономический эффект достигается при системном и комплексном внедрении точного земледелия, когда рост урожайности и рентабельности сопровождается снижением себестоимости [3].

Цифровая трансформация агросектора требует изменения управленческих подходов, развития горизонтальных связей, аналитики больших данных и новых бизнес-моделей. Она затрагивает всех участников аграрной цепочки, способствуя переходу к индивидуальному, интеллектуальному и упреждающему управлению в реальном времени. Необходима разработка «цифрового фундамента» и «пакетных решений», объединяющих агрохимию, сортовые технологии и цифровые платформы.

Научная новизна исследования заключается в систематизации региональных барьеров цифровизации АПК Татарстана на основе данных ведомственной статистики за 2019–2023 гг. и авторской оценке эффективности отечественных программных решений (Агросигнал, Cognitive Pilot) в условиях санкционного давления, что позволяет впервые предложить адаптированную для республики модель платформенного управления с учетом дефицита кадров и инфраструктурных ограничений.

Основным барьером на пути цифровизации аграрного сектора на региональном уровне является отсутствие системного подхода со стороны органов власти [4]. Необходимо проработать финансово-экономические, технологические, кадровые и внедренческие аспекты, а также разработать алгоритмы внедрения ИТ-технологий и платформ. Федеральные стратегии определяют региональную ответственность за достижение целей цифрового развития.

На глобальном уровне цифровые инструменты выступают фундаментом для эволюции аграрного сектора, обеспечивая автоматизацию процессов, внедрение робототехники, цифровое моделирование и переход к платформенным архитектурам [7,8]. Стремление повысить показатели урожайности и соблюдение принципов устойчивого земледелия служат катализаторами технологического развития в сфере точного земледелия.

Мировой рынок точного земледелия оценивается в миллиарды долларов с прогнозируемым ростом [7]. Несмотря на то, что цифровизация охватывает значительную часть сельхозпредприятий, лишь малая доля использует цифровые технологии системно [6]. Несмотря на это, рынок цифровых решений для аграрного сектора обладает колоссальным потенциалом, а площади, где применяются технологии точного земледелия, увеличиваются из года в год.

В рамках ведомственной программы Министерства сельского хозяйства РФ «Цифровое сельское хозяйство» внедряются комплексные цифровые платформы. Реализация точного земледелия обещает существенные выгоды. Государство, представленное Минсельхозом России, играет роль главного инвестора и интегратора национальной цифровой экосистемы в агросфере [9].

Данные представленные в таблице 1, позволяют сделать вывод, о том, что применения цифровых технологий в сельском хозяйстве, может охватывать как одну сферу применения, так и несколько.

Таблица 1

Анализ применения цифровых технологий в АПК

Цифровые технологии	Животноводство	Растениеводство
Системы анализа состояния стада	+	–
Государственные информационные системы	+	+
Геоинформационные системы (ГИС/картирование полей)	+	+
Динамическая тензометрия (контроль веса)	+	–
Беспилотные летательные аппараты (БПЛА/дроны)	–	+
Роботизированная техника (автономные тракторы, комбайны)	–	+
Единая цифровая платформа АПК (ЕЦП)	+	+

Потенциальные эффекты от реализации технологий точного земледелия представлены в таблице 2.

Таблица 2

Эффекты от реализации инновационных решений в области точного земледелия

Инновационные решения в области точного земледелия	Эффект от реализации технологии точного земледелия
Автоматическая обработка полей беспилотной сельскохозяйственной техникой	Сокращение потерь урожая до 13% сокращение сроков уборки урожая на 25%
выделение однородных зон в пределах одного поля	рост урожайности на 20%
технология сменной нормы высева и автоматического отключения сева	рост урожайности на 12% (относительно одной нормы сева)
технология дифференцированного внесения удобрений	экономия в пределах 5-40% удобрений
достоверная информация о качестве обрабатываемых почв	сокращение расходов на удобрения до 30%
технология моделирования погодных условий	сокращения потерь урожая до 25%

Основные препятствия на пути внедрения технологий точного земледелия включают финансовые ограничения, угрозы для качества и надежности технологических разработок, а также неполное или нестабильное покрытие территорий интернетом, что негативно сказывается на работе оборудования. Разнообразие климатических зон и типов почв затрудняет создание универсальных решений, требуя индивидуального подхода и пилотных проектов для адаптации. Острой проблемой остается дефицит квалифицированных кадров, в решении которой ключевую роль играют региональные образовательные учреждения. Отсутствие

единых стандартов обмена данными препятствует интеграции различных цифровых систем и экосистем [5].

На протяжении последнего десятилетия ведущие российские агропредприятия, включая «Мираторг» и «Русагро», активно вкладывают средства в развитие точного земледелия, формируя внутри своих структур профильные подразделения [9]. Подобная стратегия позволила существенно нарастить производственные показатели. Ярким примером служит компания «Агро-Альянс-Сибирь»: в 2020 году она перевела все посевные площади на технологии точного земледелия, что обеспечило рекордные урожаи в регионе.

В условиях стремления к технологическому суверенитету в России активно развиваются отечественные программные решения. Среди них «Агротоник», «АгроМон», SmartAGRO и NeuroPlant, охватывающие различные аспекты агробизнеса, от управления техникой до аналитики на базе ИИ.

Цифровая платформа «Агросигнал» успешно используется более чем 300 сельхозорганизациями по всей стране, демонстрируя рост рентабельности до 25%, сокращение издержек до 50% и увеличение урожайности более чем на 15% [4].

Российская компания Cognitive Pilot заняла второе место в мировом рейтинге разработчиков систем автономного пилотирования сельхозтехники на базе ИИ, что является выдающимся достижением в условиях санкций [10].

Другие примеры отечественных разработок включают ПО для подсчета всходов от Института цитологии и генетики СО РАН, радиолокационный метод оценки почвы от Северо-Кавказского федерального университета и беспилотную систему ADAS от Казанского ГАУ.

Рынок беспилотных авиационных систем (БАС) активно растет, значительную долю занимают агро-БАС, предоставляющие услуги мониторинга и внесения удобрений.

Лидерами по внедрению точного земледелия являются Краснодарский край, Воронежская и Волгоградская области, Татарстан и Башкортостан. Республика Татарстан демонстрирует высокие результаты благодаря Стратегии цифровизации АПК, поддержке автоматизации и обучению специалистов. В регионе функционирует государственная информационная система АПК, предоставляющая оперативную аналитику.

Региональные университеты создали авторские учебные курсы, направленные на подготовку кадров в сфере цифровых технологий. Это помогает развивать навыки, требуемые для успешного руководства аграрным бизнесом в эпоху цифровой трансформации.

С 2019 по 2023 год аграрный сектор Татарстана пережил интенсивный процесс цифровизации. Статистика подтверждает тесную связь между использованием современных технологий и улучшением экономических показателей отрасли. Внедрение таких инструментов, как системы точного земледелия, дроны для мониторинга, IoT-датчики и автоматизированные платформы управления, дало следующие результаты:

– увеличение урожайности благодаря оптимизации агротехнических процессов, дозированному применению удобрений и средств защиты, а также быстрому выявлению проблемных участков;

– сокращение затрат на производство за счет автоматизации рутинных задач и улучшения логистики, что привело к экономии на топливе, горюче-смазочных материалах и фонде оплаты труда;

– рост рентабельности вследствие сочетания увеличения объемов производства и снижения операционных расходов, что напрямую увеличило прибыль сельхозпредприятий.

В частности, по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РТ, средняя рентабельность сельхозорганизаций, внедривших элементы точного земледелия, выросла с 12% в 2019 г. до 18% в 2023 г.

Ввиду ключевой роли агропромышленного сектора в обеспечении продовольственной независимости государства перед лицом глобальных угроз, таких как климатические изменения и демографический рост, возникает настоятельная потребность в комплексном решении.

Данное решение должно предусматривать, во-первых, активизацию государственной поддержки, а именно разработку специализированных программ помощи, предоставление финансовой поддержки для приобретения отечественного программного обеспечения и оборудования, а также формирование благоприятной среды для инвестиций. Во-вторых, усиление регионального управления, которое включает в себя формирование единой системы управления цифровыми трансформациями в рамках республики для координации действий всех участников аграрного сектора. И в-третьих, поощрение использования инновационных технологий, конкретно создание экспериментальных зон и показательных хозяйств для тестирования новых разработок.

В связи с этим, концепция платформенного развития АПК демонстрирует растущую инвестиционную привлекательность. Технологии машинного обучения и искусственного интеллекта открывают возможности для создания многофункциональных цифровых платформ, объединяющих информацию по всей производственной цепочке. Эти платформы становятся основой для принятия управленческих решений, что делает их ценным активом для инвесторов.

Таким образом Проведённое исследование подтвердило положительную динамику цифровизации АПК Республики Татарстан: средняя рентабельность сельхозорганизаций, внедривших элементы точного земледелия, выросла с 12% до 18% (на 4–6 п.п. выше, чем без цифровых решений). При этом основными барьерами остаются недостаток финансирования (68%), дефицит кадров (57%) и нестабильное интернет-покрытие (42%).

Наиболее эффективными инструментами государственной поддержки признаны субсидирование отечественного ПО (+23% внедрения), создание показательных хозяйств (+31% заинтересованности малого бизнеса) и развитие образовательных программ (–15% кадрового дефицита). Предложенная модель платформенного управления АПК обеспечивает синергетический эффект в виде дополнительных 5–7% роста рентабельности.

Перспективными направлениями дальнейшей работы являются улучшение цифровых платформ с переходом от сбора данных к прогнозной аналитике, разработка доступных сервисов и мобильных приложений для сельхозпроизводителей, а также оценка влияния ИИ на точность прогнозирования урожайности, разработка стандартов обмена данными и анализ эффективности агро-БАС в условиях Татарстана.

Список литературы

1. Труфляк, Е.В. Основные элементы системы точного земледелия / Е.В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 39 с.

2. О совершенствовании реализации агротехнологических решений в точном земледелии / Якушев В.П., Якушев В.В., Конев А.В. и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 1. – С. 13–17.

3. Гриц, Н.В. Использование элементов точного сельского хозяйства для получения климатически обоснованной урожайности сельскохозяйственных культур в специализированных севооборотах / Н.В. Гриц, Р.А. Ростовцев, А.В. Диченский // Аграрная наука. – 2023. – № 10. – С. 88–94.

4. Субаева, А.К. Теория и практика цифровизации сельского хозяйства Республики Татарстан / А.К. Субаева, Н.Р. Александрова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15. – № 3(59). – С. 133–138.

5. Сергеева, Н.В. Экономическое обоснование элементов точного земледелия // Экономика сельского хозяйства России. – 2024. – № 5. – С. 2–7.

6. Цифровая экономика: 2024: краткий статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2024.

7. Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture – a worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2-3), 113-132.

8. Kendall, H., Naughton, P., Clark, B., et al. (2022). Precision agriculture for sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 839996.

9. Алтухов, А. И. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса России: проблемы и решения // АПК: экономика, управление. – 2023. – № 1. – С. 4–16.

10. Ушачев, И. Г. Стратегические направления развития цифровой экономики в сельском хозяйстве России // Экономика сельского хозяйства России. – 2022. – № 4. – С. 2–9.

11. Ерохин, М. Н. Цифровизация АПК: проблемы и перспективы / М. Н. Ерохин // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 8. – С. 12–18.

12. Санду, И. С. Научно-техническое развитие АПК в условиях цифровизации / И. С. Санду // АПК: экономика, управление. – 2022. – № 12. – С. 15–22.

УДК 338.43:004.8:658.5

ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МЕХАНИЗМЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ ХЛОПКОВО-ТЕКСТИЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ УЗБЕКИСТАНА

Ташбаев И.О., к.э.н., доцент Ташкентского университета прикладных наук, г. Ташкент, Узбекистан

DIGITAL PLATFORMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE MECHANISM OF VERTICAL INTEGRATION AND VALUE DISTRIBUTION IN THE COTTON-TEXTILE VALUE CHAIN OF UZBEKISTAN

Tashbaev I.O., PhD in Economics, Associate Professor, Tashkent University of Applied Sciences, Tashkent, Uzbekistan

Аннотация

В статье цифровизация агропромышленного комплекса рассматривается не как внедрение отдельных информационных систем, а как инфраструктура координации вертикально интегрированной цепочки создания стоимости. На примере хлопково-текстильного комплекса Республики Узбекистан исследуются микроэкономические механизмы связи производителя сырья с результатами глубокой переработки. Предложена модель цифрового паспорта партии, связывающего данные о производстве хлопка, качестве, первичной переработке, прядении, выпуске ткани и готового изделия с затратами, выручкой и добавленной стоимостью каждой стадии. Развивается авторская логика ПАКОР, использованная в исследовании 2002 г., до модели ПАКОР-М, где дополнительный блок мониторинга обеспечивает обратную связь на основе цифровых данных. Обосновано, что искусственный интеллект целесообразно применять для прогнозирования качества и выхода продукции, выявления узких мест, сценарной оценки загрузки мощностей и рисков, но не для непрозрачного автоматического распределения доходов. Предложены показатели прозрачности и сбалансированности распределения добавленной стоимости между участниками цепочки.

Ключевые слова: вертикальная интеграция, добавленная стоимость, хлопково-текстильная цепочка, цифровая платформа, искусственный интеллект, цифровая прослеживаемость, трансакционные издержки, ПАКОР-М, Узбекистан

Abstract

This article examines digitalization of the agro-industrial complex not as the implementation of individual information systems, but as an infrastructure for coordinating a vertically integrated value chain. Using the example of the cotton and textile complex of the Republic of Uzbekistan, it examines the microeconomic mechanisms linking raw material producers with the results of advanced processing. A model for a digital batch passport is proposed, linking data on cotton production, quality, primary processing, spinning, fabric production, and finished goods with costs, revenue, and added value for each stage. The author's PAKOR logic, used in a 2002 study, is developed into the PAKOR-M model, where an additional monitoring unit provides feedback based on digital data. It is argued that artificial intelligence is appropriate for predicting product quality and yield, identifying bottlenecks, and scenario-based assessments of capacity utilization and risks, but not for opaque, automated revenue distribution. Indicators for transparency and balanced distribution of added value among chain participants are proposed.

Keywords: vertical integration, added value, cotton-textile value chain, digital platform, artificial intelligence, digital traceability, transaction costs, PAKOR-M, Uzbekistan

Введение

В хлопково-текстильном комплексе экономический результат формируется последовательно: выращивание хлопка-сырца, первичная переработка, прядение, производство ткани или трикотажа, отделка, пошив готового изделия, логистика, маркетинг и продажа. Каждая стадия требует специфических ресурсов и несет собственный риск, однако участники цепочки не всегда располагают сопоставимой информацией о конечной цене, качестве, выходе продукции и величине создаваемой на следующих переделах стоимости. Поэтому вертикальная интеграция эффективна лишь тогда, когда она уменьшает трансакционные издержки и одновременно создает прозрачные правила координации и распределения результата.

Современный этап развития отрасли усиливает актуальность этой задачи. Всемирный банк отмечает переход Узбекистана от экспорта сырья к глубокой переработке и формированию текстильной цепочки более высокой добавленной стоимости; с 2023 г. страна способна перерабатывать весь объем хлопка-сырца в пряжу, а дальнейший резерв связан с тканями, трикотажем и готовыми изделиями [6]. В 2026 г. на примере Нарпайского района официально демонстрировалась полная цепочка от выращивания хлопка до готовой одежды, подтверждающая практическую значимость территориальной интеграции.

Цель исследования – разработать цифровой микроэкономический механизм координации вертикально интегрированной хлопково-текстильной цепочки, который позволяет прослеживать формирование добавленной стоимости и поддерживать обоснованные решения по загрузке мощностей, качеству, финансированию и расчетам с производителями.

Теоретическая основа и преемственность исследования

В теории фирмы вертикальная интеграция объясняется необходимостью снизить издержки рыночной координации при высокой специфичности активов, неопределенности и повторяемости сделок [1, 2]. Для хлопково-текстильной цепочки специфичность проявляется в сезонности сырья, необходимости технологической совместимости, требованиях к качеству и высокой капиталоемкости перерабатывающих мощностей. Если перерабатывающий актив создан без гарантированного сырьевого баланса, его недозагрузка увеличивает постоянные издержки на единицу продукции; если производитель сырья не связан с результатом переработки, его стимулы к повышению качества ослабевают.

Материалы исследования автора 2002 г. рассматривали производство и переработку сельскохозяйственной продукции как взаимосвязанную систему, где выбор проекта должен начинаться не с заранее заданного варианта, а с выявления проблемы, формирования альтернатив, критериев и оценки результатов [7]. В современной монографической интерпретации эта логика расширяется до всей цепочки создания стоимости: договоры, ресурсы, загрузка

мощностей, инвестиции, маркетинг, распределение прибыли и цифровая прослеживаемость рассматриваются как единый контур управления.

Для обновления этой методологии предлагается модель ПАКОР-М: П – проблема; А – альтернативы; К – критерии; О – оценка результатов; Р – решение; М – мониторинг и корректировка. Новизна дополнительного блока состоит в том, что решение не считается завершенным после его принятия. Цифровые данные о фактическом выходе продукции, качестве, платежах, загрузке оборудования и рынке возвращаются в систему и используются при следующем цикле выбора.

Материалы и методы

Исследование сочетает институциональный, микроэкономический и процессный подходы. Единицей анализа выступает интегрированная цепочка «хлопок-сырец – хлопкоочистка – прядение – ткань/трикотаж – готовое изделие». Ретроспективная база включает материалы хлопководческих хозяйств и перерабатывающих проектов, использованные в исследовании 2002 г.; современная база – официальные материалы по развитию текстильной отрасли, международные исследования цифрового сельского хозяйства и практику формирования полных производственных цепочек в Узбекистане.

Добавленная стоимость отдельной стадии определяется как разность между выручкой от реализованной продукции данной стадии и стоимостью внешне приобретенных промежуточных товаров и услуг. Для всей интегрированной цепочки внутренние передачи между подразделениями исключаются, что предотвращает искусственное завышение совокупного результата. Цифровая система должна фиксировать как стоимостные, так и натуральные параметры: массу партии, качество, выход волокна и пряжи, технологические потери, сроки, стоимость ресурсов, транспорт, энергию, оплату труда и конечную реализацию.

Цифровой паспорт партии и контур добавленной стоимости

Предлагается создавать цифровой паспорт каждой коммерчески значимой партии хлопка. Его идентификатор сохраняется при переходе между стадиями и связывает: происхождение сырья; агротехнологические параметры; лабораторную оценку качества; вес и влажность; результаты хлопкоочистки; выход волокна и побочных продуктов; параметры прядения; выпуск ткани или трикотажа; готовое изделие; логистические операции; цену реализации и сроки расчетов.

Такой паспорт превращает прослеживаемость из инструмента только контроля происхождения в инструмент микроэкономического анализа. Производитель может видеть, как качество сырья повлияло на выход и ценность конечной продукции; переработчик – оценивать надежность поставщика; банк – анализировать денежный поток цепочки; государство – видеть агрегированные узкие места без вмешательства в коммерческую тайну.

Стадия	Ключевые данные цифрового паспорта	Экономический результат
Хлопководство	партия, качество, ресурсы, срок уборки	цена сырья, качество, своевременность оплаты
Первичная переработка	вес, влажность, выход волокна и побочной продукции	выход, технологические потери, затраты
Прядение/ткань	партия волокна, режим, выпуск, энергия	загрузка мощностей, себестоимость, VA стадии
Готовое изделие	спецификация, бренд, рынок, цена	конечная выручка и совокупная добавленная стоимость

Для каждого передела i рассчитывается $VA_i = R_i - IC_i$, где R_i – выручка стадии, IC_i – стоимость внешних промежуточных затрат. Для оценки участия в общем результате

целесообразно дополнительно фиксировать вклад качества, капитала, технологического риска, оборотного финансирования и соблюдения сроков. Конкретные веса не должны устанавливаться административно: они являются предметом договора между участниками и могут различаться по продукту и региону. Задача цифровой платформы – обеспечить проверяемую исходную информацию, а не заменить договор алгоритмом.

Искусственный интеллект и ПАКОР-М

Искусственный интеллект следует встраивать в ПАКОР-М как аналитический, а не властный слой. На этапе «Проблема» модели могут выявлять отклонения: недозагрузку прядильных мощностей, рост просроченной задолженности, ухудшение качества или увеличение расхода воды и энергии. На этапе «Альтернативы» система формирует сценарии: продажа сырья, дополнительная переработка, контрактное прядение, кооперация нескольких хозяйств, модернизация или отсрочка инвестиции. На этапе «Критерии» пользователь задает ограничения по ликвидности, занятости, качеству, экологии и сроку окупаемости. На этапе «Оценка» имитационная модель сравнивает сценарии. Решение принимает уполномоченный человек или орган управления, после чего блок «Мониторинг» сопоставляет план и факт.

В отличие от универсального рейтинга, такая архитектура сохраняет экономическую ответственность за человеком. Это важно для распределения доходов: непрозрачный алгоритм способен усилить зависимость слабого участника от интегратора. Поэтому любые рекомендательные модели должны быть объяснимыми, а исходные показатели – доступными сторонам договора.

Показатели результативности

Эффективность цифровой интеграции предлагается оценивать по пяти группам показателей: 1) доля партий с полной прослеживаемостью; 2) своевременность расчетов с производителями; 3) загрузка перерабатывающих мощностей; 4) добавленная стоимость на тонну исходного сырья и доля готовой продукции в реализации; 5) количество спорных расхождений по качеству, весу и расчетам. Дополнительно учитываются ресурсная эффективность и безопасность труда.

Особое значение имеет своевременность платежа. Даже высокая совокупная прибыль цепочки не обеспечивает устойчивость, если производитель финансирует оборотный цикл за счет задержки расчетов. Поэтому цифровой паспорт должен связываться с календарем обязательств и фиксировать факт оплаты. Это создает основу для анализа финансовой сбалансированности, а не только технологической эффективности.

Заключение

Цифровизация хлопково-текстильного комплекса должна быть подчинена экономической задаче повышения ценности каждой тонны сырья и согласования интересов участников цепочки. Предложенная модель связывает цифровую прослеживаемость с расчетом добавленной стоимости, а ПАКОР-М – с непрерывным циклом принятия и проверки управленческих решений. Цифровой паспорт партии позволяет перейти от разрозненных производственных данных к сквозной экономической картине «поле – переработка – готовое изделие – рынок».

Практическое применение модели требует пилотирования на конкретной интегрированной цепочке, согласования классификаторов, доступа к данным и договорных правил. Следующий этап исследования – количественная апробация механизма распределения добавленной стоимости на материалах хлопково-текстильных кластеров Республики Узбекистан.

Список литературы

1. Coase R.H. The Nature of the Firm // Economica. 1937. Vol. 4, № 16. P. 386–405.

2. Williamson O.E. The Economic Institutions of Capitalism. New York: Free Press, 1985.

3. Porter M.E. Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. New York: Free Press, 1985.

4. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming – A Review // Agricultural Systems. 2017. Vol. 153. P. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

5. Klerkx L., Jakku E., Labarthe P. A Review of Social Science on Digital Agriculture, Smart Farming and Agriculture 4.0 // NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences. 2019. Vol. 90–91. 100315. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315.

6. World Bank. Weaving a New Future in Uzbekistan's Cotton Sector. Washington, DC, 2025.

7. Ташбаев И.О. Организационно-экономические аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы кандидатской диссертации. Ташкент, 2002.

8. Президент Республики Узбекистан. Industry–agriculture integration drives new results in Narpay. 18.03.2026.

9. Национальный комитет Республики Узбекистан по статистике. Uzbekistan exported textile products worth $2.3 billion in 11 months. 05.01.2026.

10. Uyar H., Karvelas I., Rizou S., Fountas S. Data Value Creation in Agriculture: A Review // Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 226. 109602.

УДК 637.1.02-52

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОГО ДОЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ДАННЫХ

Хисамов Р.Р., к.б.н., доцент, заведующий кафедрой биологии, генетики, общей и биологической химии;
ORCID: 0000-0001-8830-1411;
Файзуллина Т.А., аспирант ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0009-0004-1885-735X;
E-mail: rifat_khisamov@mail.ru

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ROBOTIC MILKING THROUGH DIGITAL MONITORING AND DATA ANALYSIS

Khisamov R.R., Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Biology, Genetics, General and Biological Chemistry;
ORCID: 0000-0001-8830-1411;
Faizullina T.A., Postgraduate Student, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0009-0004-1885-735X;
E-mail: rifat_khisamov@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности систем роботизированного доения на основе цифрового мониторинга и анализа данных, генерируемых программами управления стадом. Актуальность исследования обусловлена необходимостью внедрения технологий «точного» животноводства в молочном скотоводстве России в рамках реализации ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство». Цель работы – изучить возможности использования цифровых данных, получаемых от доильных роботов, для разработки объективных критериев оценки и отбора животных, адаптированных к роботизированной технологии. Научная новизна исследования заключается в разработке и обосновании комплекса цифровых индикаторов, позволяющих проводить объективную оценку пригодности коров

к роботизированному доению: коэффициента доильной активности (КДА), интенсивности процесса доения (ИПД), индекса жевательных движений (ИЖД) и нормированного коэффициента вариации удоев. Предложенные показатели интегрируют данные о продуктивности, временных параметрах доения и поведенческой активности, что обеспечивает комплексный подход к оценке животных. На основе анализа данных из программ управления стадом, полученных в трех хозяйствах Республики Татарстан, установлены ключевые цифровые индикаторы, коррелирующие с молочной продуктивностью. Коэффициенты корреляции между продуктивностью и кратностью доения составили 0,41-0,69. Животные группы отбора по ИПД превосходили сверстниц по разовому удою на 18,2% ($P < 0,001$), при этом время доения было меньше на 15 %. Разница по продуктивности между группами, выделенными по ИЖД, составила 27%. Практическая значимость результатов заключается в том, что их применение в селекционной работе позволяет повысить продуктивность стада на 20-30% и оптимизировать загрузку доильного оборудования. Предложенные критерии могут быть использованы при формировании стад для роботизированных технологий и внедрении элементов цифрового животноводства на молочных комплексах.

Ключевые слова: роботизированное доение, цифровой мониторинг, анализ данных, молочная продуктивность, доильная активность, селекция

Abstract

This article is devoted to investigate the issues of improving the efficiency of robotic milking systems through digital monitoring and data analysis generated by herd management software. The relevance of the study is driven by the need to implement precision livestock farming technologies in Russian dairy cattle breeding as part of the national program "Digital Agriculture". The aim of the work is to explore the potential of using digital data obtained from milking robots to develop objective criteria for evaluating and selecting animals adapted to robotic technology. The scientific novelty of the research lies in the development and substantiation of a set of digital indicators for objective assessment of cow suitability for robotic milking: the milking activity coefficient (MAC), milking process intensity (MPI), chewing movements index (CMI), and normalized coefficient of variation of milk yields. The proposed indicators integrate data on productivity, milking time parameters, and behavioral activity, providing a comprehensive approach to animal evaluation. Based on the analysis of data from herd management software obtained from three farms in the Republic of Tatarstan, key digital indicators correlating with milk productivity have been identified. Correlation coefficients between productivity and milking frequency ranged from 0.41 to 0.69. Animals in the MPI selection group outperformed their counterparts in single milk yield by 18.2% ($P < 0.001$), while milking time was 15% shorter. The productivity difference between groups identified by CMI was 27%. The practical significance of the results lies in the fact that their application in breeding work allows increasing herd productivity by 20-25% and optimizing the load on milking equipment. The proposed criteria can be used in the formation of herds for robotic technologies and the implementation of digital livestock farming elements at dairy complexes.

Keywords: robotic milking, digital monitoring, data analysis, milk productivity, milking activity, selection

Введение

Внедрение цифровых технологий в молочное скотоводство является одним из ключевых направлений повышения эффективности отрасли. Как отмечают Michelena и соавт. [1], рост мирового населения до 9,4-10,1 млрд человек к 2050 г. и увеличение спроса на молочную продукцию на 58% создают беспрецедентное давление на животноводческий сектор. В этих условиях традиционные подходы к управлению стадом становятся недостаточно эффективными, что обусловливает необходимость перехода к технологиям «точного» животноводства [2].

Комплексное внедрение цифровых технологий в молочном скотоводстве способствует росту продуктивности до 34,5% и снижению себестоимости молока на 22,1%, при этом ключевым фактором успеха является системный подход к цифровой трансформации, а не разрозненное применение отдельных решений [3].

Системы роботизированного доения являются одной из наиболее успешных реализаций концепции «точного» животноводства. Как подчеркивается в обзоре John и соавт., роботизированное доение трансформирует не только процесс доения, но и всю систему управления фермой: животные получают возможность самостоятельно выбирать время доения, что распределяет процесс на протяжении всех 24 часов [4].

Современные системы роботизированного доения интегрируют широкий спектр сенсорных систем. Ключевыми элементами «умных» молочных ферм являются акселерометры для мониторинга двигательной активности, датчики для определения качества молока (электропроводность, цвет, соматические клетки), а также системы радиочастотной идентификации животных. Эти устройства генерируют большие массивы данных, которые, согласно анализу Khanashyam и соавт., могут быть обработаны с использованием методов машинного обучения для прогнозирования удоев, ранней диагностики заболеваний и оптимизации процессов кормления и воспроизводства [5, 6].

Значительный интерес представляют исследования по использованию сенсорных данных в селекционных программах. Отмечается [7], что данные от сенсоров предоставляют высокочастотную, объективную и масштабируемую фенотипическую информацию для генетических оценок. Однако авторы указывают на ключевые проблемы, препятствующие полной реализации этого потенциала: фрагментация данных между различными брендами сенсоров, отсутствие стандартизации, а также вопросы доступности и прав на передачу данных.

Важным направлением является анализ поведенческой активности животных. В работе Хисамова и соавт. показано, что индексы пищевой, двигательной и общей активности положительно коррелируют с молочной продуктивностью, а индекс двигательной активности может служить дополнительным селекционным критерием. Эти результаты согласуются с данными зарубежных исследований, подтверждающих взаимосвязь поведенческих паттернов с продуктивностью и здоровьем животных [8].

Таким образом, анализ научной литературы свидетельствует о высоком потенциале цифрового мониторинга и анализа данных для повышения эффективности роботизированного доения. При этом сохраняются нерешенные вопросы интеграции разрозненных данных, разработки унифицированных критериев оценки животных и практического применения результатов анализа в селекционной работе, что определяет актуальность настоящего исследования. В связи с этим целью настоящей работы является изучение возможностей использования данных, генерируемых системой роботизированного доения, для повышения эффективности ее функционирования и продуктивности стада.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены на молочных комплексах Республики Татарстан, применяющих технологию роботизированного доения (КФХ «Мухаметшин З.З.», КФХ «Ахметов», ООО «Возрождение»). В хозяйствах используется высокопродуктивный молочный скот голштинской, черно-пестрой, холмогорской и джерсейской пород, доение осуществляется роботами Lely Astronaut A4. Система содержания – беспривязно-боксовая.

Информацию о продуктивности и параметрах доения получали из программ управления стадом Lely T4C. На основе автоматически фиксируемых данных рассчитывали: кратность доения – количество завершенных доений за сутки; коэффициент доильной активности (КДА) – отношение фактического количества доений за сутки к максимально возможному; интенсивность процесса доения (ИПД) – отношение разового удоя (кг) к общему времени нахождения животного в доильном боксе (мин.).

Для оценки выравненности удоев рассчитывали нормированный коэффициент вариации: отношение коэффициента вариации удоя отдельной коровы за выбранный интервал времени к среднему коэффициенту вариации по группе.

Для мониторинга комфортности содержания определяли индекс жевательных движений (ИЖД) – отношение времени жевательных движений за сутки к 1440 минутам.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы MS Excel. Рассчитывали средние арифметические значения (M), ошибки средних (±m). Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента. Корреляционный анализ выполняли с расчетом коэффициента Пирсона (r).

Результаты исследований

Главной отличительной особенностью системы роботизированного доения является свободный доступ животных к доильным боксам. Этой свободой животные распоряжаются по-разному. Количество доений за определенный отрезок времени является важным показателем, от которого зависит эффективность функционирования доильного робота. Животные с низкой доильной активностью потенциально менее пригодны для эффективного использования роботизированных систем, поскольку не обеспечивают достаточной загрузки оборудования и не реализуют свой продуктивный потенциал. Однако, сверхактивные особи так же не желательны, поскольку они приводят к непродуктивному функционированию доильного робота. Таким образом, для технологии роботизированного доения необходимы животные, которые демонстрируют определенный уровень доильной активности.

Важно отметить, что кратность доения является легко фиксируемым цифровым параметром, который программа управления стадом (например, Lely T4C) регистрирует автоматически. Это делает его доступным и объективным индикатором для первичной оценки адаптационных способностей животных к роботизированной технологии.

Коэффициенты корреляции между молочной продуктивностью и кратностью доения, которые во всех трех исследованных хозяйствах были положительными среднего значения, свидетельствуют о возможности использования показателя кратности доения в качестве одного из ключевых селекционных критериев при отборе животных для роботизированных систем (табл. 1).

Таблица 1

Взаимосвязь молочной продуктивности и кратности доения

Показатель	Коэффициент корреляции		
	ООО «Возрождение»	**КФХ «Ахметов»**	**К(Ф)Х «Мухаметшин З.З.»**
Продуктивность-кратность доения	0,45	0,69	0,41

Одним из критериев, по которому оценивается кратность доения, может выступать расчет коэффициента доильной активности (КДА) – отношение фактического количества доений за сутки к максимально возможному [9]. Желательны животные с коэффициентом 0,5 и выше. Из графика видно, что коровы, попавшие в группу отбора (КДА = ≥ 0,5), имеют продуктивность выше на 21,1% (рис. 1).

Кроме кратности доения, важное значение имеет информация о качественной стороне доения. Критериями оценки можно рассматривать время нахождения животных в доильном боксе и скорость молоковыведения. Чем выше скорость молоковыведения, тем меньше время нахождения животного в доильном боксе и, соответственно, эффективнее использование доильного робота. В программе управления стадом время нахождения животного в доильном

боксе складывается из следующих операций: преддоильная подготовка вымени (очистка сосков, позиционирование манипулятора, подключение доильных стаканов), непосредственное доение, снятие доильных стаканов с сосков вымени, дезинфекция сосков. Эффективность животного будет тем выше, чем больше скорость молоковыведения и меньше время на сопутствующие доению операции, которое определяется анатомическими особенностями вымени (расположение сосков, их размеры).

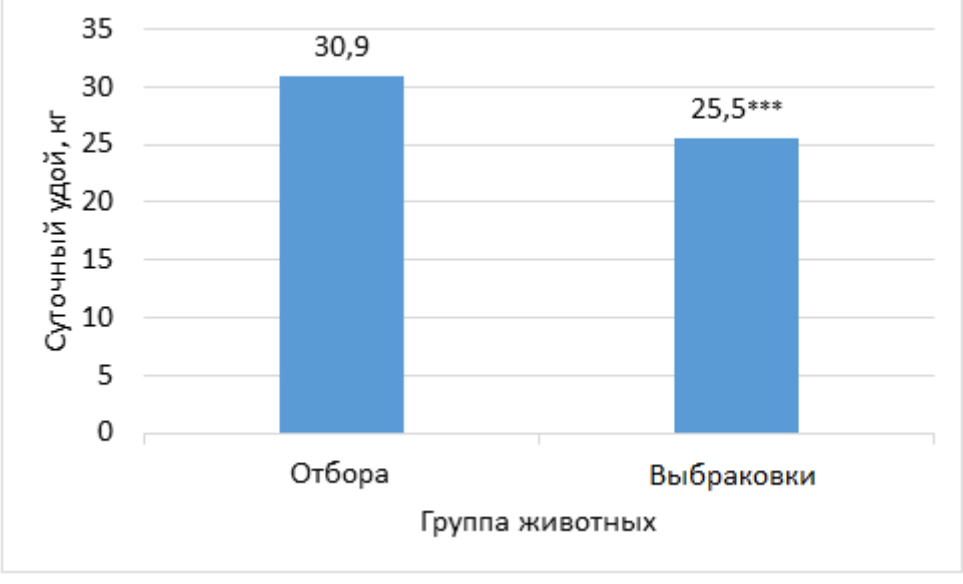


Рис. 1. Продуктивность животных разных групп

Оценку качества доения можно осуществить через показатель «интенсивность процесса доения» (ИПД), рассчитываемый как отношение разового удоя (кг) к общему времени нахождения животного в доильном боксе (мин.). Данный показатель интегрирует как продуктивность животного, так и скорость выполнения всех технологических операций роботом. В группу отбора следует зачислить животных с показателем больше среднего по стаду на одну сигму ($\overline{X}$+1σ). Результаты оценки коров по ИПД представлены в табл. 2.

Таблица 2

Продуктивность и время доения животных, отнесенных к группе отбора и выбраковки

Показатель	Группа первотелок	
	отбора	выбраковки
ИПД, кг/мин	1,47±0,009	1,06±0,008***
Средний разовый удой, кг	7,8±0,072	6,6±0,069***
Время доения, мин.	5,3±0,046	6,2±0,055***

*** – P < 0,001.

Установлено, что животные группы отбора достоверно превосходят сверстниц из группы выбраковки по разовому удою на 18,2%, при этом время их нахождения в доильном боксе на 15% меньше. Это свидетельствует о том, что отбор по ИПД позволяет одновременно повышать продуктивность стада и увеличивать пропускную способность доильного оборудования. Коэффициент корреляции между ИПД и суточным удоем составил 0,46.

Условия, которые создаются для животных, должны быть комфортными и способствовать максимальному проявлению заложенного генетического потенциала продуктивности и сохранению их здоровья. Оценить комфортность животных можно путем непосредственного наблюдения за его поведением. Однако это не всегда возможно и лучше иметь косвенные индикаторы мониторинга состояния комфорта животных. Одним из показателей, отражающим состояние животного, является пищевое поведение. Для мониторинга за пищевым поведением можно использовать датчики жевания, которые широко используются на практике. Информация от датчиков в реальном времени поступает в программу управления стадом. Вопрос лишь в том, как анализировать эту информацию. Одним из способов является определение индекса жевательных движений (ИЖД), который вычисляется путем деления времени жевательных движений за сутки (мин.) оцениваемой коровы на общее количество минут в сутках. Отбор можно вести так же по критерию среднего квадратичного отклонения, например +0,5 σ.

На графике (рис. 2) видно, что более активное в пищевом отношении животные являются более продуктивными (на 27%).



Рис. 2. Взаимосвязь ИЖД и молочной продуктивности

Еще одним важным критерием, свидетельствующим о благосостоянии животного, является выравненность удоев. Колебания в молочной продуктивности являются следствием стрессового воздействия определенного характера. В программе управления стадом системы роботизированного доения имеется функция прогнозирования последующего удоя исходя из фактически завершенных удоев. Если фактический удой отличается значительно от ожидаемого, это сигнал обратить внимание на это животное. Исходя из этих данных, можно выстроить алгоритм оценки животных. Для этого выбирается определенный интервал времени оценивания (декада, месяц, год). В полученной группе интервальных удоев для каждой коровы находится среднее значение среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации. Финальным этапов является сравнение коэффициента вариации отдельного животного со средним коэффициентом вариации оцениваемой группы животных. Если нормированный коэффициент вариации меньше единицы, животного относят к желательному типу.

Из графика (рис. 3) видно, что из 10 оцененных животных 6 (60%) соответствуют критерию по выравненности удоев. Соответственно, они более предпочтительны для роботизированного доения как более устойчивые к технологическим стрессам.

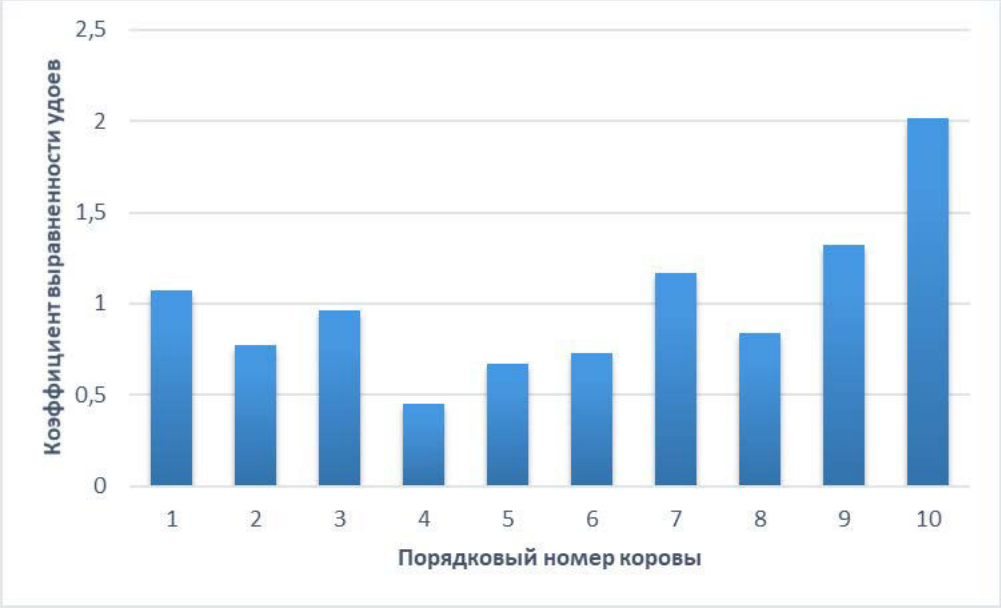


Рис. 3. Коэффициент выравненности удоев коров

Заключение

Системы роботизированного доения генерируют значительные объемы цифровых данных о продуктивности, доильной активности и поведенческих реакциях животных, что создает объективную основу для управления стадом. Однако эффективное использование этого информационного потенциала требует разработки и применения адекватных методов оценки и интерпретации данных. Предложенные в статье показатели позволяют объективно оценивать адаптационные способности животных к роботизированной технологии. Применение данных критериев в селекционной работе способствует формированию стада, пригодного для эффективной эксплуатации доильных роботов. Практическая реализация предложенных подходов обеспечивает повышение молочной продуктивности до 30% и оптимизацию загрузки дорогостоящего оборудования. Дальнейшие исследования должны быть направлены на интеграцию различных цифровых индикаторов в единую систему поддержки принятия решений.

Список литературы

1. Álvaro, M., Óscar, F.-R., José Luis, C.-R. A review and future trends of precision livestock over dairy and beef cow cattle with artificial intelligence // Logic Journal of the IGPL. 2025, Vol. 33, Iss. 4. jzae 111, https://doi.org/10.1093/jigpal/jzae111/.

2. Yousfi, M., M'Sadak, Y. Smart dairy cattle farming: current tools, technologies, and future (Literature review) // African and Mediterranean Agricultural Journal: Al Awamia. 2025. Vol. 147, 115-127. https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/afrimed-i147.54174.

3. Шейхова, М. С. Анализ методов оценки экономической эффективности цифровых технологий в молочном скотоводстве / М. С. Шейхова, С. Г. Сафонова, Я. П. Сердюкова // Управленческий учет. – 2025. – № 11-2. – С. 402-407. – EDN ANQQYH.

4. John, A.J. Clark, C.E.F. Freeman, M.J. Kerrisk, K.L. Garcia, S.C. Halachmi, I. // Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution, animal, Volume 10, Issue 9, 2016, Pp. 1484-1492, https://doi.org/10.1017/S1751731116000495.

5. Anandu, C.K., Sandeep, J., Tarun K.A., Priyamvada, T., Om, P.M., Hana, T., Abdo, H., Bharathi, R., Vishnu, M., Kaavya, R., Alaa El-Din A.B., Nilesh N. Applications of artificial intelligence in the dairy Industry: From farm to product development // Computers and Electronics in Agriculture. 2025. Vol. 238, 110879, https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110879.

6. Khanashyam A.C., Jagtap S., Agrawal T.K., et al. Applications of artificial intelligence in the dairy Industry: From farm to product development // Computers and Electronics in Agriculture. 2025. Vol. 238. 110879. https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110879.

7. Luiz, F.B., Bjørg, H., Ilka, C.K., Katharina, S., Victor E.C., Anna, S., Michael, I., Marie, J.H., Kathrin, F.S., Nicolas, G., Jeffrey, B., Miel, H., Elsa, V., Christa E.-D. Invited review: Using data from sensors and other precision farming technologies to enhance the sustainability of dairy cattle breeding programs // Journal of Dairy Science. 2025. Vol. 108, Iss. 10. Pp. 10447-10474, https://doi.org/10.3168/jds.2025-26554.

8. Хисамов, Р. Р. Оценка и отбор коров по поведенческой активности / Р. Р. Хисамов, Л. Р. Загидуллин, Ф. Ф. Зиннатов, Т. А. Файзуллина // Вестник аграрной науки. – 2024. – № 4 (109). – С. 56-62. https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.4.56.

9. Загидуллин, Л. Р. Оценка и отбор коров по доильной активности для системы роботизированного доения / Л. Р. Загидуллин, Р. Р. Хисамов, Р. Р. Каюмов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (72). – С. 117-121.

УДК 712.4:528.8:004.9

ПЛАТФОРМА «ЗЕЛЁНЫЙ КОНТУР» КАК ИНСТРУМЕНТ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО УЧЁТА И ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ЗЕЛЁНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ

Хуснутдинов И.И., старший преподаватель кафедры таксации и экономики лесной отрасли ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань;
ORCID: 0000-0002-1134-6651;
E-mail: husnutdinov_ilnur@rambler.ru;
Вагизов М.Р., д.т.н., доцент, проректор по информационным технологиям и цифровой трансформации ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург;
ORCID: 0000-0003-4848-1619;
E-mail: bars-tatarin@yandex.ru;
Мирсияпов Н.И., старший преподаватель кафедры таксации и экономики лесной отрасли ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»;
ORCID: 0009-0007-1059-231X;
E-mail: Nail.86@mail.ru;
Мусин Х.Г., член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан, д.с.-х.н., профессор кафедры лесоводства и лесных культур ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

THE «GREEN CONTOUR» PLATFORM AS A TOOL FOR GEOSPATIAL INVENTORY AND DIGITAL MANAGEMENT OF URBAN GREEN SPACES

Khusnutdinov I.I., Senior Lecturer, Department of Forest Inventory and Forest Industry Economics, Kazan State Agrarian University, Kazan;
ORCID: 0000-0002-1134-6651;
E-mail: husnutdinov_ilnur@rambler.ru;
Vagizov M.R., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Information Technologies and Digital Transformation, Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg;
ORCID: 0000-0003-4848-1619;
E-mail: bars-tatarin@yandex.ru;

Mirsyapov N.I., Senior Lecturer, Department of Forest Inventory and Forest Industry Economics, Kazan State Agrarian University;
ORCID: 0009-0007-1059-231X;
E-mail: Nail.86@mail.ru;
Musin Kh.G., Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Silviculture and Forest Cultures, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы учёта и мониторинга зелёных насаждений в современных городах. Традиционные методы инвентаризации не позволяют оперативно отслеживать изменения состояния деревьев и планировать мероприятия по уходу. Авторами представлена цифровая платформа «Зелёный контур», предназначенная для пространственно-привязанного учёта деревьев и других объектов озеленения. Платформа обеспечивает возможность фиксации дендрометрических и санитарных характеристик деревьев и других объектов озеленения, их пространственной привязки к карте, прикрепления фотографий и назначения необходимых мероприятий. Описана архитектура системы, включающая модули ввода данных, визуализации и разграничения прав доступа. Показаны перспективы развития платформы, включая интеграцию с технологиями дистанционного зондирования и лазерного сканирования. Применение платформы создаёт предпосылки для повышения прозрачности и эффективности управления зелёным фондом городов.

Ключевые слова: зелёные насаждения, цифровизация, геоинформационные системы, инвентаризация деревьев, пространственные данные, зелёная инфраструктура, веб-платформа

Abstract

The article considers the problems of accounting and monitoring green spaces in modern cities. Traditional inventory methods do not allow for the prompt tracking of changes in tree conditions and the planning of maintenance activities. The authors present the digital platform «Green Contour», designed for the spatially referenced inventory of trees and other landscaping objects. The platform enables the recording of dendrometric and sanitary characteristics of trees and other green infrastructure objects, their spatial referencing on a map, attachment of photographs, and assignment of required maintenance activities. The architecture of the system is described, including data input modules, visualization tools, and access rights management. The prospects for further platform development are presented, including integration with remote sensing and laser scanning technologies. The application of the platform creates prerequisites for increasing the transparency and efficiency of urban green infrastructure management.

Keywords: green spaces, digitalization, geoinformation systems, tree inventory, spatial data, green infrastructure, web platform

Введение

Зелёные насаждения являются важнейшим элементом городской среды. Они очищают воздух, снижают шум, создают комфортные условия для отдыха и формируют облик города [1, 3]. Однако современное состояние городских зелёных насаждений вызывает серьёзную озабоченность: деревья стареют, страдают от антропогенной нагрузки, болезней и вредителей, а система их учёта остаётся несовершенной.

В современных исследованиях зелёные насаждения рассматриваются не только как отдельные элементы благоустройства, но и как составная часть городской зелёной инфраструктуры, обеспечивающей экологическую устойчивость территорий, регулирование микроклимата и повышение качества городской среды [2, 7].

В большинстве российских городов инвентаризация зелёных насаждений проводится раз в несколько лет с использованием бумажных ведомостей и схем. Это не позволяет оперативно выявлять аварийные деревья, планировать санитарные рубки и контролировать качество работ по озеленению. Отсутствие актуальных данных о состоянии каждого дерева приводит к тому, что средства на содержание зелёного фонда расходуются неэффективно, а результаты озеленительных мероприятий остаются непредсказуемыми [1, 4].

В последние годы в России и за рубежом предпринимаются попытки создания цифровых систем учёта зелёных насаждений [2, 5]. Однако многие из них либо ориентированы на решение узких ведомственных задач, либо не обеспечивают необходимой детализации (подеревного учёта с фотографиями и историей изменений). Разработанная платформа «Зелёный контур» направлена на решение данной задачи за счёт объединения пространственного учёта и атрибутивного описания объектов зелёной инфраструктуры.

Концепция и архитектура платформы «Зелёный контур»

«Зелёный контур» – это веб-платформа для учёта и мониторинга зелёных насаждений, разработанная в Казанском государственном аграрном университете. Система позволяет наносить деревья на карту, заполнять их цифровые карточки с дендрометрическими и санитарными характеристиками, прикреплять фотографии и назначать мероприятия по уходу.

Отличительной особенностью платформы является сочетание подеревного пространственного учёта, объектно-ориентированной структуры данных и возможности адаптации системы под различные категории территориальных объектов. В отличие от традиционных систем инвентаризации, ориентированных преимущественно на хранение перечневой информации, платформа предусматривает формирование цифровых паспортов объектов с их пространственным положением, характеристиками состояния и историей обследований.

В основе платформы лежит принцип «мобильный сбор → облачное хранение → веб-визуализация», реализуемый за счёт интеграции мобильных технологий и ГИС [8]. Это означает, что данные могут собираться в полевых условиях с помощью смартфона, автоматически синхронизироваться с облачным хранилищем и отображаться на интерактивной карте, доступной через веб-браузер.

Платформа поддерживает три основных типа пространственных объектов:

1. Точечные объекты – предназначены для индивидуального учёта объектов, имеющих конкретное местоположение на территории. В рамках платформы данный тип объектов используется преимущественно для подеревного учёта деревьев и кустарников. Каждый объект получает уникальный идентификатор, пространственную привязку и индивидуальную цифровую карточку с набором атрибутивных характеристик.

2. Полигональные объекты – используются для отображения территориальных объектов, имеющих определённые пространственные границы. Данный тип объектов предназначен для учёта защитных лесных насаждений, участков озеленения, территорий благоустройства, парков, скверов и других площадных элементов зелёной инфраструктуры.

3. Типы обозначений – представляют собой картографические условные обозначения, предназначенные для визуального отображения различных категорий объектов и тематической информации на цифровой карте. Использование данного элемента обеспечивает единый подход к визуализации пространственных данных и повышает информативность картографического интерфейса. Для каждого дерева в системе фиксируется следующий набор данных:

– вид/порода (выбирается из справочника);
– возраст или год посадки;
– высота и диаметр ствола;
– категория состояния (от «здоровое» до «аварийное»);
– фотографии;
– комментарии и дата обследования;
– рекомендуемые мероприятия (наблюдение, обрезка, лечение, удаление).

Важной особенностью системы является цветовая индикация категорий состояния. Деревья отображаются на карте разными цветами: зелёным – здоровые, жёлтым – ослабленные, оранжевым – сильно ослабленные, красным – усыхающие, чёрным – погибшие или аварийные. Это позволяет оперативно оценивать состояние объектов на обследуемой территории и выделить объекты, требующие первоочередного внимания.

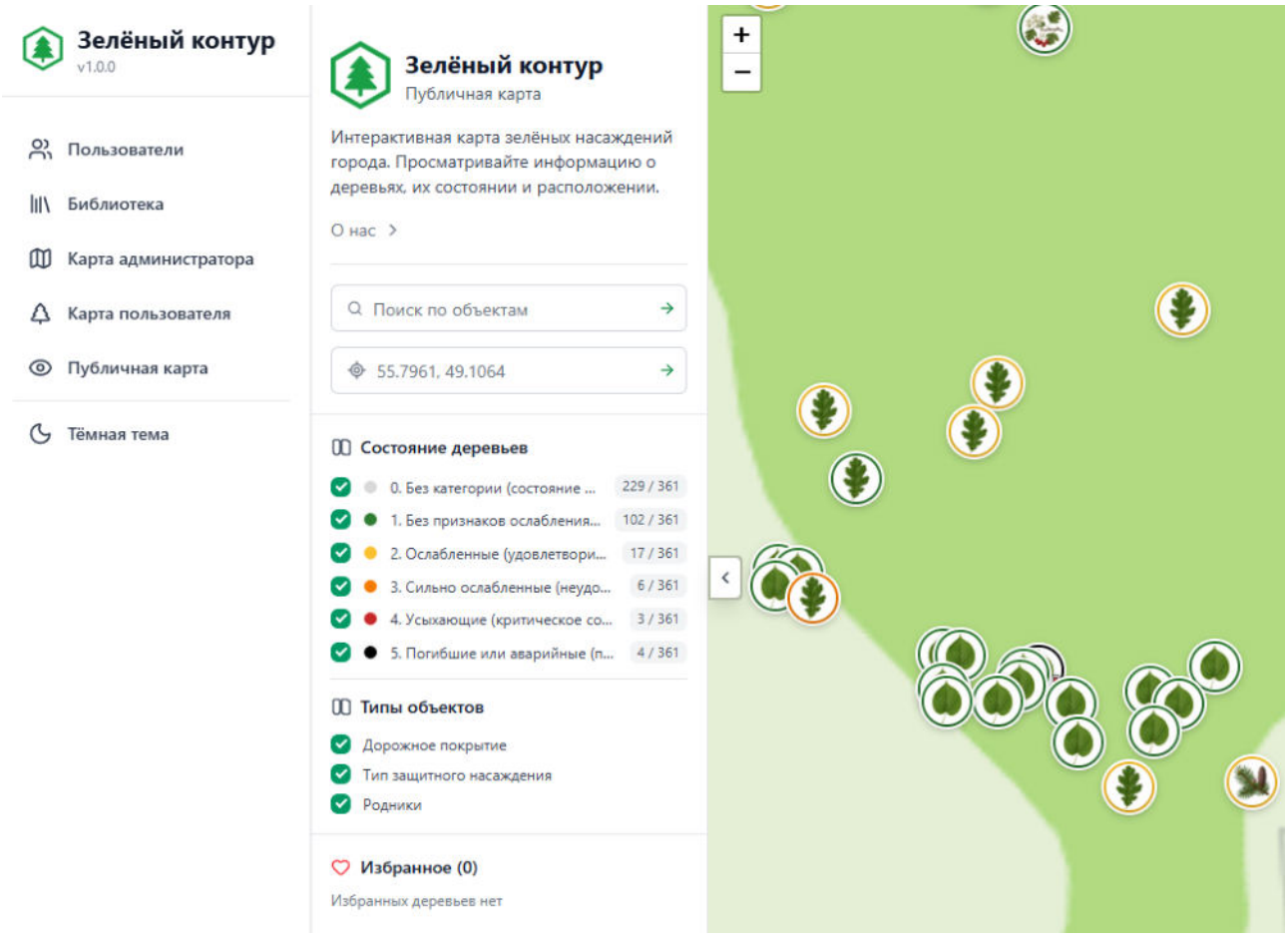


Рис. 1. Главный экран веб-платформы «Зелёный контур» с интерактивной картой

Как работает система

Сбор информации осуществляется непосредственно на территории обследования с использованием мобильных устройств, после чего данные синхронизируются с веб-интерфейсом платформы. Система предусматривает три способа определения местоположения объекта:

– текущее местоположение – система считывает координаты со встроенного GPS/ГЛОНАСС-приёмника устройства.

– клик по карте – специалист самостоятельно отмечает дерево на спутниковом снимке.

– ручной ввод координат – для объектов, координаты которых известны из предыдущих обследований или получены с помощью геодезического оборудования.

После фиксации местоположения пользователь переходит к заполнению цифровой карточки дерева. В неё вносятся порода, возраст, высота, диаметр, категория состояния, прикрепляются фотографии. После сохранения дерево появляется на карте с маркером соответствующего цвета.

Для учёта парков, скверов и лесных полос используется инструмент рисования полигонов. Пользователь обводит границы объекта на карте, и система автоматически рассчитывает его площадь. Затем заполняется расширенная карточка с указанием породного состава, возраста, полноты, типа условий местопроизрастания и других характеристик [2, 8].

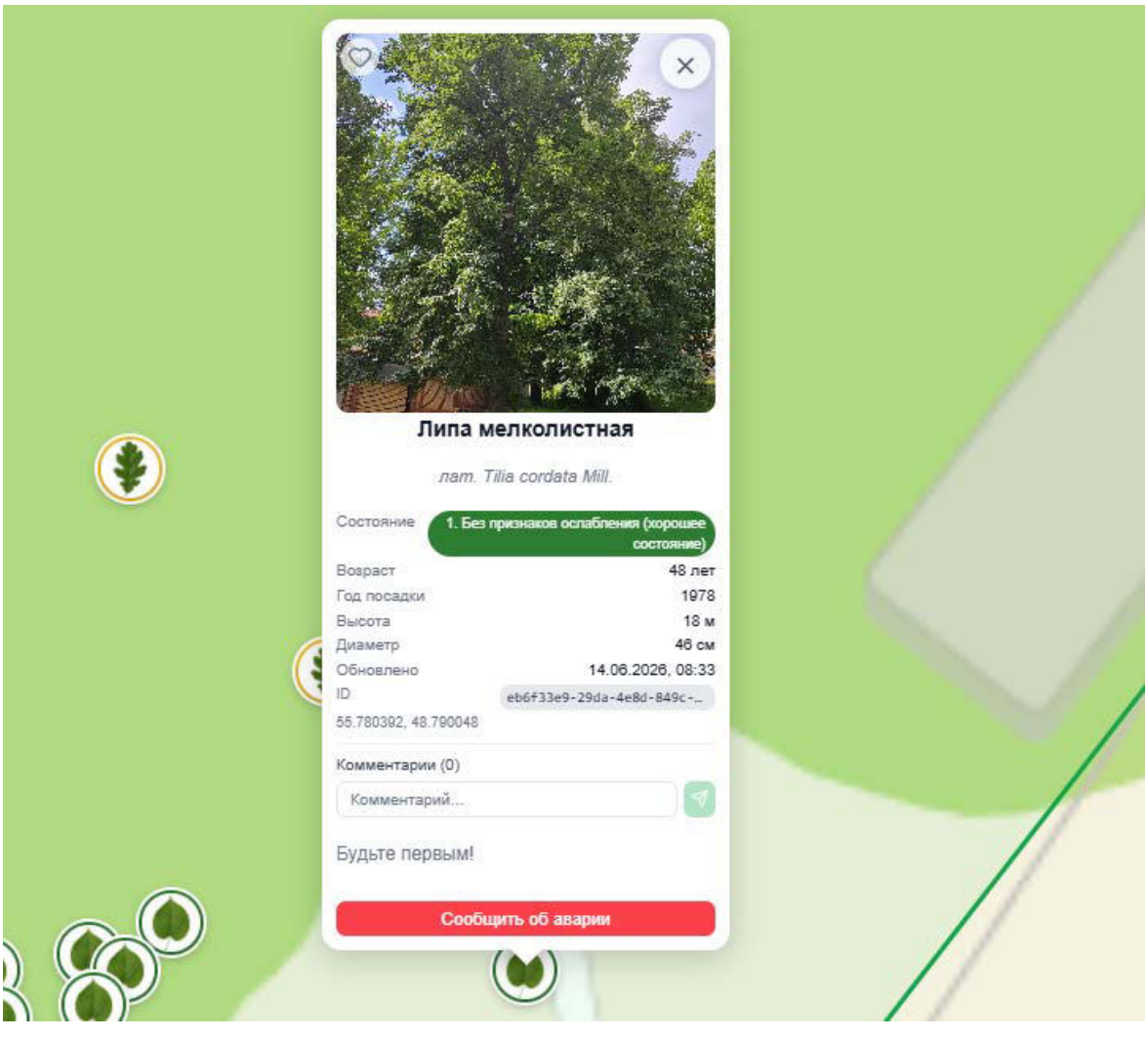


Рис. 2. Карточка добавления дерева с дендрометрическими и атрибутивными полями



Рис. 3. Пример рисования полигона для типового объекта

Все данные хранятся централизованно и доступны авторизованным пользователям.

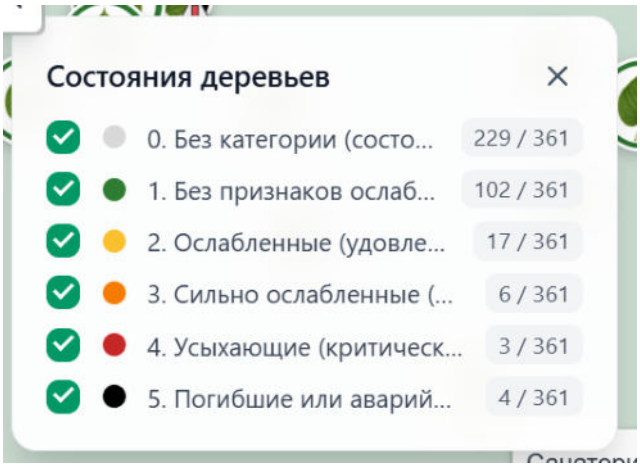


Рис. 4. Панель фильтрации «Состояния деревьев»

Разграничение позволяет организовать коллективную работу: каждый специалист видит и редактирует только те объекты, которые закреплены за его территорией, а руководство может контролировать полноту и качество вводимых данных.

Преимущества цифрового подхода к учёту зелёных насаждений

Традиционный учёт зелёных насаждений ведётся в бумажных или табличных ведомостях, которые слабо связаны с картой. Чтобы найти конкретное дерево, нужно сопоставить его описание с планом, что трудоёмко и чревато ошибками. Фотографии хранятся отдельно, и со временем связь между ними и описанием теряется [1, 4].

Платформа «Зелёный контур» решает эти проблемы:

– Единая карточка объекта объединяет координаты, описание, фотографии и рекомендации.

– Все данные привязаны к карте – дерево легко найти как на местности, так и на интерактивной карте.

– Цветовая индикация позволяет мгновенно выявлять проблемные участки [5].

– Платформа создаёт возможность для эффективного отслеживания динамики состояния каждого дерева за счёт накопления истории обследований и обновления атрибутивных данных [5].

Цифровой учёт существенно упрощает планирование работ. Сотрудник муниципальной службы может отфильтровать деревья категории 4-5 (усыхающие и аварийные) и сформировать перечень объектов, требующих срочного удаления или санитарной обрезки. Это делает процесс управления более прозрачным и обоснованным.

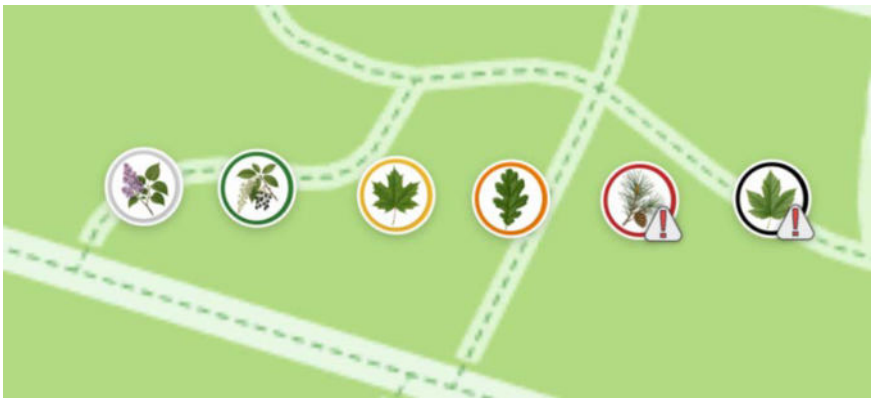


Рис. 5. Отображение маркеров деревьев на карте с цветовой индексацией состояния

Перспективы развития

В настоящее время платформа «Зелёный контур» представляет собой действующий прототип, для которого проводится проверка функциональных возможностей и отдельных сценариев использования. В ходе проверки функциональных возможностей платформы осуществляется тестирование основных сценариев использования системы, проверяется корректность работы её модулей и уточняются требования к дальнейшему развитию функционала. По результатам анализа современных тенденций в области цифрового мониторинга зелёных насаждений и на основе опыта, полученного в ходе тестирования отдельных сценариев использования, были определены несколько ключевых направлений дальнейшего развития системы.

Одним из наиболее перспективных направлений является интеграция платформы с технологиями дистанционного зондирования Земли [9, 10]. Использование спутниковых снимков, а также данных, получаемых с беспилотных летательных аппаратов, позволит в значительной степени автоматизировать процесс дешифрирования и векторизации объектов озеленения. Это, в свою очередь, даст возможность автоматически выявлять изменения состояния насаждений, определять контуры крон и виды растений, а также существенно сократить трудоёмкость полевых работ по инвентаризации.

Другим важным направлением развития прототипа является применение технологий лазерного сканирования (LiDAR) для высокоточной инвентаризации объектов озеленения. Современные мобильные и воздушные лазерные сканеры позволяют получать трёхмерные облака точек высокой плотности, на основе которых можно получать информацию о высоте деревьев, параметрах крон, структуре насаждений и других характеристиках, перспективных для автоматизированного анализа. Интеграция этих данных с платформой «Зелёный контур» создаст возможность для формирования детальных трёхмерных моделей древостоев и проведения регулярного мониторинга изменений их состояния [6].

Наиболее важного внимания заслуживает дальнейшее развитие ролевой модели системы. В текущей версии платформы реализована трёхуровневая модель, включающая роли «Хост», «Пользователь» и «Зритель», которая уже позволяет эффективно разграничивать права доступа между администратором, полевыми специалистами и наблюдателями. Однако результаты тестирования отдельных сценариев использования показывают, что для полноценного внедрения системы в деятельность муниципальных образований и организаций, осуществляющих содержание зелёных насаждений, требуется расширение ролевой модели.

Значительный потенциал имеет также развитие систем поддержки принятия управленческих решений. На основе накопленных в платформе данных о состоянии зелёных насаждений, их дендрометрических характеристиках и динамике изменений могут быть разработаны алгоритмы, которые будут предлагать оптимальные мероприятия по уходу за деревьями, обосновывать необходимость проведения санитарных рубок и прогнозировать риски ухудшения состояния отдельных объектов. Это позволит муниципальным службам принимать более обоснованные решения о распределении ресурсов на содержание и восстановление зелёного фонда.

Обсуждение результатов

Анализ возможностей платформы «Зелёный контур» показывает, что основным преимуществом системы является объединение пространственной и атрибутивной информации в единой цифровой среде. В отличие от традиционных методов инвентаризации, основанных преимущественно на табличном представлении данных, предложенный подход обеспечивает возможность постоянного обновления информации и пространственного анализа состояния объектов [8].

Существенным преимуществом платформы является возможность объединения данных различных источников в единой информационной среде. Это позволяет рассматривать

зелёные насаждения не как отдельные объекты учёта, а как элементы единой городской зелёной инфраструктуры.

Вместе с тем текущая версия платформы является прототипом, поэтому дальнейшее развитие связано с расширением функциональности, автоматизацией обработки данных и интеграцией с внешними информационными системами.

Заключение

Платформа «Зелёный контур» представляет собой перспективную геоинформационную систему для цифрового учёта и мониторинга зелёных насаждений. Она создаёт предпосылки для перехода от разрозненных бумажных ведомостей к единой пространственно-привязанной базе данных, в которой каждое дерево имеет цифровой паспорт с фотографиями и рекомендациями по уходу.

Применение платформы потенциально способствует повышению эффективности управления зелёным фондом, упрощает поиск проблемных объектов, облегчает планирование работ и контроль их исполнения. Дальнейшее совершенствование системы, включая интеграцию с технологиями дистанционного зондирования и лазерного сканирования, создаст основу для дальнейшего развития цифровых систем управления городской зелёной инфраструктурой.

Список литературы

1. Волкодаева, М. В. О методах контроля состояния зелёных насаждений урбанизированных территорий / М. В. Волкодаева, Я. А. Володина // Системы контроля окружающей среды. – 2023. – № 4 (54). – С. 65-70.

2. Николаева, О. Н. Актуальность учета сведений ЕГРН при инвентаризации и мониторинге городских зелёных насаждений / О. Н. Николаева, Л. К. Трубина, Е. А. Васильева // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 11-18.

3. Мухаметова, С. В. Видовой состав и жизненное состояние древесных насаждений по ул. Советская в исторической части г. Йошкар-Олы / С. В. Мухаметова, Ю. В. Криваксина, А. А. Воронцова // Сельское хозяйство. – 2025. – № 2. – С. 13-25.

4. Тесаловский, А. А. Инвентаризация зелёных насаждений на территории населённых пунктов / А. А. Тесаловский, Н. В. Анисимов // Московский экономический журнал. – 2023. – Т. 8, № 4.

5. Хуснутдинов, И. И. Разработка цифровой платформы для инвентаризации зелёных насаждений на городских территориях Республики Татарстан / И. И. Хуснутдинов, Н. И. Мирсияпов, М. Н. Калимуллин, Х. Г. Мусин, А. Р. Мухаметшина // Kazan Digital Week – 2024. – Казань, 2024. – С. 153–157.

6. Хуснутдинов, И. И. Потенциальные области применения технологии лазерного сканирования для пространственного анализа в лесном и сельском хозяйстве / И. И. Хуснутдинов, Н. И. Мирсияпов, Х. Г. Мусин // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2025. – Т. 68, № 6.

7. Kabisch N., Haase D. Green justice or just green? Provision of urban green spaces in European cities // Landscape and Urban Planning. – 2014. – Vol. 122. – P. 129–139.

8. Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. Geographic Information Systems and Science. 4th ed. Wiley, 2015.

9. Tiner R.W., Lang M.W., Klemas V.V. (eds.). Remote Sensing of Wetlands: Applications and Advances. Boca Raton: CRC Press, 2015. – 570 p. ISBN 978-1-4822-3735-1.

10. Xie Y., Sha Z., Yu M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review // Journal of Plant Ecology. – 2008. – Vol. 1 (1). – P. 9–23.

УДК 619+639.3.06

MACHINE VISION AND NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR STUDYING THE PHYSIOLOGICAL ACTIVITY, PRESERVATION, GROWTH AND DEVELOPMENT OF AQUACULTURE OBJECTS

Elebiary Mohsen Abdelnasser, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Aquaculture Laboratory of the Kazan State Agrarian University, Kazan;
Tevyashov G.K., Researcher V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow;
Zagidullin L.R., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Institute «Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman» of the Kazan State Agrarian University;
Papaev R.M. Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physiology, Pharmacology and Toxicology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan State Agrarian University»;
Ezhkov V.O., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor, Department of Physiology, Pharmacology, and Toxicology, Kazan State Agrarian University;
Ezhkova A.M., Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology, Pharmacology, and Toxicology, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ, СОХРАНЕНИЯ, РОСТА И РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ

Эльебяри Мохсен А.М.Я., к.с-х.н., заведующий лабораторией аквакультуры ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», г. Казань;
Тевяшов Г.К., научный сотрудник Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва;
Загидуллин Л.Р. к.б.н, доцент, директор института «Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана» ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»;
Папаев Р.М., к.б.н., доцент кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»;
Ежков В.О., д.в.н., профессор кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»;
Ежкова А.М., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой физиологии, фармакологии и токсикологии ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

Abstract

Meeting the population's needs for high-quality fish products is a key objective in ensuring the country's food security. Current challenges include insufficient fish production for the population, inadequate raw material exports, declining production, and the limited use of digital technologies in fish farming. The use of neural network solutions for monitoring and assessing the health of aquaculture objects and increasing their productivity will automate processes, reduce costs, and improve the efficiency of fattening juvenile fish in recirculating aquaculture systems. This article presents the key stages of solutions for visualization, detection, and segmentation of aquaculture objects based on the integrated use of machine vision and neural network algorithms in the recirculating aquaculture system of the Kazan State Agrarian University. A 5,500-liter tank containing 100 juvenile sterlets was used. The studies were conducted in the year of stocking the tanks. The experimental dynamics are shown in two-dimensional images of aquaculture objects and the differentiation of binary images of individual fish. The mathematical calculations and analysis of the obtained data demonstrated a 100% survival

rate, with the mean fish size and standard deviation determined for each day of the monitoring period. A 47% increase in average fish length between four and six months of age was observed, and extreme maximum and minimum sizes of these study subjects were identified. Individual fish exhibiting abnormal behavior associated with spinal deformities and abnormal body posture were identified. A digital technology-based solution to improve public access to fish products was also proposed.

Keywords: recirculating aquaculture system, machine vision, neural network technologies, visualization, detection, segmentation, commercial sterlet juveniles, physiological activity, linear size

Аннотация

Удовлетворение потребностей населения качественной продукцией рыбоводства является важной задачей в обеспечении продовольственной безопасности страны. Существующие на данном этапе проблемы заключаются в недостаточном уровне рыбопродукции для населения, неудовлетворительном сырьевом экспорте, снижении производства и в ограниченном использовании в рыбоводстве цифровых технологий. Применение нейросетевых решений для мониторинга и оценки состояния здоровья объектов аквакультуры, увеличения их продуктивности обеспечит автоматизацию процессов, сокращение затрат и повышение эффективности при откорме молоди рыб в условиях установок замкнутого водоснабжения. В статье представлены основные этапы решений по визуализации, детекции и сегментации объектов аквакультуры на основе комплексного применения машинного зрения и нейросетевых алгоритмов в условиях установки замкнутого водоснабжения Казанского государственного аграрного университета. Показаны в динамике эксперимента плоскостные изображения объектов аквакультуры, дифференциация бинарных изображений отдельных особей. На основе проведенных математических расчетов и анализа полученных данных установлена 100% сохранность поголовья, показано увеличение средней длины рыб в период с четырех до шести месячного возраста на 47%, идентифицированы экстремальные – максимальные и минимальные размеры этих объектов исследования. Дифференцировано аномальное поведение отдельных особей, обусловленных деформацией позвоночника и не адекватного положения тела в окружающей среде. Представлено решение по повышению доступности рыбопродукции для населения за счет использования цифровых технологий.

Ключевые слова: установка замкнутого водоснабжения, машинное зрение, нейросетевые технологии, визуализация, детекция, сегментация, товарная молодь стерляди, физиологическая активность, линейный размер

Introduction

Fish farming is an important industry, contributing to the preservation of food security and public health in the Russian Federation through the production of high-quality products. The development and production of fish products in recirculating aquaculture systems is a stable source of income, creates new jobs, promotes the economic development of the fishing industry, cultivates environmentally friendly fish, produces organic by-products, and reduces feed costs.

Currently, an important area of fish farming development is the creation and implementation of innovative technologies. These technologies are based on knowledge of physiological health criteria and functional parameters of fish growth and development, which contribute to production efficiency. Automation of processes, the use of monitoring systems and sensors, the application of artificial intelligence and data analytics, and the cultivation of sustainable and fast-growing valuable fish species are the key areas of development.

Biometric analysis allows the identification of individual fish through automatic scanning, enabling growth, disease, and parasite monitoring without manual intervention, minimizing stress and improving care [1]. Machine learning predicts fish growth using computer vision and 3D modeling, replacing traditional weighing. Algorithms analyze changes in biomass to optimize feeding and harvesting times [2].

Computer vision improves the counting and classification of fry by size, health, and strain, increasing accuracy and reducing mortality. Incubators with recognition systems enable precise monitoring without physical handling [3].

Artificial neural networks used for fish behavior analysis helpdetect stress responses, diseases, and environmental changes. Tools such as ByteTrack track individuals, while YOLOv5 and Si-amRPN++ detect abnormal movements, providing early warnings [4]. In [5], the authors report a possible solution to this problem in a recirculating aquaculture system: the implementation of machine vision and neural network-based algorithms for long-term monitoring of fish health, visualization of motor activity and behavior patterns, and the development of a program for non-invasive (non-contact) «weighing» of aquaculture objects. This aim is to automate processes and improve the economic efficiency of fish production during the fattening of commercial young fish.

In [6], the authors developed and presented a method for fish detection and segmentation using the YOLOv9 deep neural network, one of the most advanced models for computer vision.

The implementation of artificial intelligence systems using digital vision is actively promoted by leading global countries. In [7], the authors report that when implementing artificial intelligence (AI) in large livestock farms, monitoring abnormal animal behavior is optimal. They note the labor-intensive process of labeling animal behavior patterns and the difficulties of implementing the system in production. The authors point to the possibility of achieving this through the use of machine vision and neural network technologies. As a result of collaboration between the Artificial Intelligence Technologies Center of the V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, the research team of the Kazan State Agrarian University, and the information department of the Belgorod Scientific and Educational Center, the «Aibolit» digital vision system was developed and implemented at the experimental pig fattening site of Agro Belogorye LLC [8].

Therefore, the aim of the study is to apply machine vision and neural network-based technologies to automate fish production processes in studying the physiological activity, survival, growth, and development of commercial sterlet juveniles in a recirculating aquaculture system (RAS).

To achieve this goal, the following tasks were defined:

1. Video visualization and interpretation of aquaculture objects, their linear size, and motor activity in the RAS.

2. Development of a neural network-based algorithm for fish detection, segmentation, and tracking;

3. Automatic monitoring of fish health, detection of abnormal swimming behavior, fish damage and pathological deviations.

Methodology

The study involved commercial juvenile sterlets aged 5-7 months. The research was conducted in the aquaculture laboratory for sturgeon rearing in recirculating aquaculture systems at the N.E. Bauman Kazan Academy of Veterinary Medicine, part of the Kazan State Agrarian University (KAVM FSBEI HE Kazan SAU). The research was conducted during the year of stocking the tanks. The tank was equipped with a video camera with software support HiWatch IPC-D082-G2/U, with a capacity of 5,500 tons of water, and contained 100 commercial juvenile sterlets (Figure 1).

To visualize and identify the sterlets and their functional activity, the method of Meshcheryakov et al. (2024) was used, along with the Yolo neural network for detection and segmentation of fish in video frames. The neural network continuously monitod fish activity in real time, ensuring high accuracy and speed of aquaculture recognition.

During image-based visualization and analysis, individual fish were tracked using an identity-preserving approach throughout the observation period, while accounting for inter-frame movement. A movement database for juvenile sterlet was generated by accumulating behavioral activity data from all detected individuals over a specified time interval. Long-term image analysis and comparative assessment of fish size at different growth and developmental stages enabled the calculation of body size changes in order to estimate linear growth during the monitoring period.

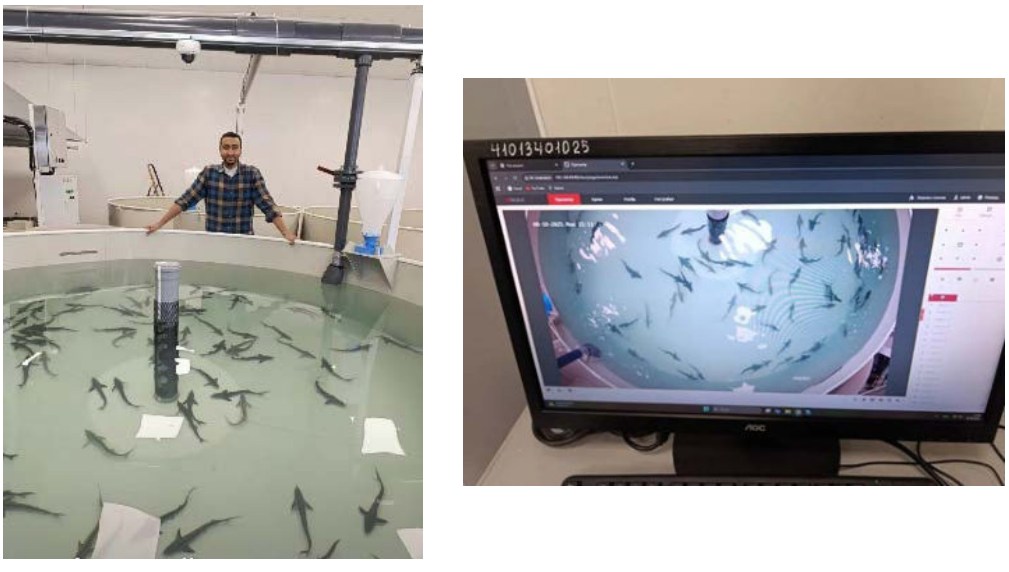


Figure 1. External view of the pool with juvenile sterlet. A video camera HiWatch IPC-D082-G2/U is mounted above the pool, image visualization

Main Part

The combination of machine vision and neural network technologies allowed us to obtain data on the size and linear growth of juvenile sterlet in a recirculating aquaculture system over the course of the study period. The study was based on determining the average aquaculture sample size at a given point in time, followed by neural network segmentation of the studied objects and subsequent analysis of their geometric characteristics (Figure 2 and 3).



Figure 2. Working area of the camera

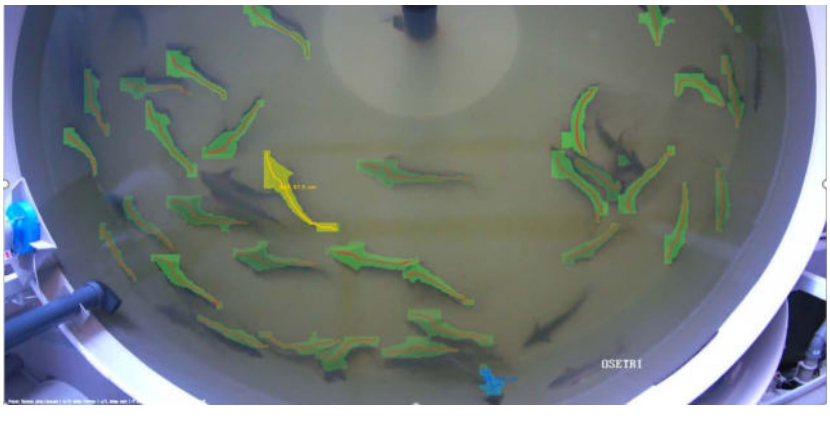


Figure 3. The result of recognition and estimation of the length of individuals

To assess the fish's size characteristics, the following stages were performed [9]:

– loading and frame-by-frame processing of video images;

– obtaining binary images of individual specimens;

– post-processing of binary images (converting to a uniform frame size, morphological filtering, and removing duplicate points);

– constructing a centerline by transforming a binary image into a single-link image with a thickness of one pixel;

– calculating length using a calibrated pixel-to-meter scale.

For fish length measurement, video recordings were performed in a single plane. The mean length of juvenile sterlet was calculated based on measurements of individual fish, including minimum and maximum length values. Extreme and anomalous values were identified through visualization of the results by overlaying binary masks and centerlines. The final stage involved the generation of output data in structured formats (JSON and CSV) for further analysis.

It was found that at 4 months of age, the average linear length of juvenile sterlet reared in a recirculating aquaculture system was 19.4 ± 5.8 cm. Extreme deviations such as fish lengths less than 15 cm and greater than 24 cm were identified in 12% of the fish. Abnormal deviations (spinal injury, inappropriate body position) were observed in 4% of the fish.

At 6 months of age, the average linear length of juvenile sterlet reared in a recirculating aquaculture system (RAS) was 28.6±6.3 cm. 14% of sterlets exhibited extreme deviations: 8% were less than 22 cm long, and 6% were greater than 35 cm. Abnormal deviations (spinal injury, inappropriate body position) were observed in 5% of the fish. The survival rate of juvenile sterlet during the study period was determined as 100%.

Conclusions

Real-time video visualization of aquaculture species, frame-by-frame image processing, object detection and segmentation, identification, and subsequent data analysis formed the basis of the developed system.

Experimental validation of the developed system ensured the continuous record of mean linear body size changes in juvenile sterlet from 4 to 6 months. Extreme values, including minimum and maximum fish si\zes, were also identified and included.

The practical significance of the developed system lies in its application at aquaculture enterprises using recirculating aquaculture systems for monitoring the health status, growth, and development of aquaculture species, as well as for supporting timely decision-making under production conditions.

Bibliography

1. Cisar, Petr & Bartunek, Dinara & Movchan, Oleksandr & Saberioon, Mehdi & Schraml, Rudolf. (2021). Computer vision based individual fish identification using skin dot pattern. Scientific Reports. 11. 10.1038/s41598-021-96476-4.

2. Hossam, R., Heakl, A. and Gomaa, W. «Precision aquaculture: An integrated com-puter vision and IoT approach for optimized tilapia feeding» arXiv preprint arXiv:2409.08695, 2024.

3. Liu, H.; Ma, X.; Yu, Y.; Wang, L.; Hao, L. Application of Deep Learning-Based Object Detection Techniques in Fish Aquaculture: A Review. J. Mar. Sci. Eng. 2023, 11, 867. https://doi.org/10.3390/jmse11040867

4. He Wang, Song Zhang, Shili Zhao, Qi Wang, Daoliang Li, Ran Zhao, Real-time detection and tracking of fish abnormal behavior based on improved YOLOV5 and SiamRPN++, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 192, 2022, 106512, ISSN 0168-1699, https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106512

5. Gerget O.M., Rusakov K.D., Tevyashov G.K. Monitoring fish activity using deep learning technologies // Proceedings of the 8th International Scientific Conference “Information Technologies and Technical Control Means” (ICCT-2024, Vladikavkaz). Moscow: IPU RAS, 2024. No. 1. pp. 445-447.

6. Meshcheryakov, R., Rusakov, K., Tevyashov, G. (2024). Automatic Determination of Sturgeon Size Using Deep Learning Technologies. In: Ronzhin, A., Bakach, M., Kostyaev, A. (eds) Agriculture Digitalization and Organic Production. ADOP 2024. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 397. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4410-7_16

7. Girfanov A.I., Papaev R.M., Zagidullin L.R., Rakhmatov L.R., Shagivaliev L.R., Ezhkova A.M. Using machine learning to study animal behavior, Collection of materials from the International Forum Kazan Digital Week-2022. Under the general editorship of R.N. Minnikhanov. Kazan, 2022. pp. 751-755.https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50028920&ysclid=mf6qg7z52e901874439

8. Rakhmatov L.A., Zagidullin L.R., Papaev R.M., Girfanov A.I., Shagivaliev L.R., Ezhkova A.M. Digital vision system – an indispensable assistant in raising fattening young pigs, Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. Kazan, 2022. Vol. 250. No. 2. Pp. 202-207. DOI 10.31588/2413_4201_1883_2_250_202.

9. Tevyashov G.K. Program for automated measurement of sturgeon length in a pool from video recording with construction of the object's midline Certificate of registration of computer program RU 2026661602, 22.04.2026. Application No. 2026660379 dated 04/09/2026.

УДК 330

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Яхина Л.Т., к.э.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-6543-7703;
Миннигалеева В.З., к.э.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0001-7248-3767

THE MANAGEMENT OF THE DIGITAL PROCESSES IN AGRICULTURE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Yakhina L.T., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-6543-7703;
Minnigaleeva V.Z., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0001-7248-3767

Аннотация

Современный агропромышленный комплекс (АПК) сталкивается с вызовами, требующими внедрения инновационных решений для повышения продуктивности, устойчивости и конкурентоспособности. Цифровая трансформация, выходящая за рамки простой автоматизации, становится ключевым фактором перехода к «умному» сельскому хозяйству. Она подразумевает фундаментальное изменение бизнес-процессов и моделей предоставления государственных услуг в аграрном секторе, направленное на создание прозрачной, клиентоориентированной и эффективной экосистемы для аграриев.

В данной статье рассматриваются подпрограммы реализуемых государственных программ поддержки аграрного сектора как Российской Федерации, так и в Республике Татарстан, задачи, которые ставятся в государственных программах поддержки аграрного сектора. В статье обозначены одни из значимых проблем в аграрном секторе – недостаток квалифицированного кадрового потенциала и низкий уровень цифровизации в управлении аграрным сектором.

Управление сельскохозяйственными предприятиями в условиях цифровизации – это использование цифровых технологий (искусственный интеллект, дроны, датчики) для повышения эффективности, прозрачности и прибыльности, автоматизации процессов (от умного земледелия до отчетности), анализа больших данных для точного принятия решений, управления ресурсами (удобрения, пестициды) и создания конкурентного преимущества, что ведет к «умному» и устойчивому агропромышленному комплексу.

В этой связи, для повышения имиджа аграрного сектора необходимо внедрение инновационного подхода, и одним из таких подходов является предложенная авторами инновационная платформа.

Ключевые слова: цифровизация, аграрный сектор, платформа, программный продукт, сельское хозяйство

Abstract

The modern agro-industrial complex (AIC) faces challenges that require the implementation of innovative solutions to increase productivity, sustainability, and competitiveness. Digital transformation, which goes beyond simple automation, is becoming a key factor in the transition to smart agriculture. It involves a fundamental change in business processes and public service delivery models in the agricultural sector, aimed at creating a transparent, customer-centric, and efficient ecosystem for farmers.

This article examines the subprograms of the implemented state support programs for the agricultural sector both in the Russian Federation and in the Republic of Tatarstan, as well as the tasks set out in the state support programs for the agricultural sector.

Managing agricultural enterprises in the context of digitalization involves using digital technologies (artificial intelligence, drones, and sensors) to improve efficiency, transparency, and profitability, automate processes (from smart farming to reporting), analyze big data for accurate decision-making, manage resources (fertilizers and pesticides), and create a competitive advantage, leading to a smart and sustainable agribusiness

The article identifies some of the significant problems in the agricultural sector – the lack of a qualified workforce and the low level of digitalization in managing the agricultural sector. In this regard, to improve the image of the agricultural sector, it is necessary to introduce an innovative approach, and one such approach is the innovative platform proposed by the authors.

Keywords: digitalization, agricultural sector, platform, software product, agriculture

Введение

Для успешной работы сельскохозяйственной организации сегодня и достижения высокой продуктивности агробизнеса, открытости его операций и укрепления конкурентных позиций как на российском, так и на международном рынке ключевое значение имеет массовое внедрение и результативное применение современных цифровых инструментов и технологий. Эти инструменты и технологии создают условия для функционирования аграрных предприятий в цифровом пространстве, в условиях внедрения современных цифровых платформ. Современные цифровые инструменты и технологии выступает одним из факторов роста эффективности и позволяет обеспечить быстрое инновационное развитие участников агропромышленного комплекса. При этом важно учитывать, что применение современных цифровых инструментов, технологий и платформ обусловливает глубокую трансформацию управленческих моделей, используемых в сельском хозяйстве, и модернизацию управленческой структуры и культуры компаний данной отрасли.

Методология

Применение современных платформенных технологий, построенных на цифровых моделях организации сельскохозяйственных производств становится главной чертой развития современного аграрного сектора.

На рис. 1 представлен перечень подпрограмм, реализуемой государственной программы [1].

1. Развитие подотрасли растениеводства, переработки и реализации продукции растениеводства.	2. Развитие подотрасли животноводства, переработки и реализации продукции животноводства.	3. Развитие мясного скотоводства.
4. Поддержка малых форм хозяйствования.	5. Техническая и технологическая модернизация, инновационное развитие.	6. Обеспечение реализации Государственной программы.
7. Комплексное развитие сельских территорий.	8. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения.	9. Развитие социальной и инженерной инфраструктуры в рамках Государственной программы

Рис. 1. Перечень подпрограмм государственной программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Республике Татарстан»

Государственная программа ставит перед собой такие цели, представленные на рис. 2.



Рис. 2. Цели государственной программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Республике Татарстан»

Для достижения поставленных целей необходимо решить ряд задач [2]:

– стимулирование увеличения выпуска и углубленной переработки основных видов продукции растениеводства для замещения импорта.;

– формирование условий для устойчивого развития и повышения рентабельности животноводства и смежных перерабатывающих отраслей, ориентированных на импортозамещение;

– повышение конкурентных позиций сектора мясного скотоводства;

– поддержка, сохранение и развитие многоукладной экономики сельских территорий через малые формы хозяйствования в агросфере и других видах деятельности;

– создание условий для улучшения благосостояния жителей сельской местности;

– повышение экономической и рыночной эффективности продукции аграрных предприятий путем модернизации технико-технологической базы. Ключевым элементом является внедрение энерго- и ресурсосберегающих подходов во всех звеньях цепочки: от растениеводства и животноводства до перерабатывающих производств [3];

– совершенствование работы органов власти и подведомственных им структур, ответственных за развитие АПК и регулирование рынков сельхозпродукции, сырья и продовольствия, с целью повышения результативности их деятельности;

– создание привлекательных условий для жизни на селе, включая развитие инфраструктуры, и формирование позитивного имиджа сельского уклада. Отдельным приоритетом является проведение масштабных мелиоративных мероприятий для повышения продуктивности земель сельскохозяйственного назначения;

– стимулирование роста товарности сельскохозяйственной продукции через организацию эффективной системы сбыта. Это предполагает создание необходимой современной высокоэффективной инфраструктуры для ее сезонного хранения, предпродажной подготовки и первичной переработки.

Следует отметить, что выполнение задач по реализации программы «Комплексное развитие сельских территорий Республики Татарстан», находясь на высоком уровне, все же имеет некоторые проблемы на данный момент [4].

Основная часть

Одна из проблем, которую стоить выделить – это недостаток кадрового потенциала. Как показывает практика, фундаментом любой деятельности являются кадры, которые или будут способствовать прогрессу всех показателей, или приведут к упадку. И уже в этом случает никакая государственная поддержка не сможет помочь.

В современных реалиях молодые люди предпочитают более модные профессии, такие как блогер, психолог и IT-специалист, ну или работе в сельском хозяйстве [5].

Но, к сожалению, работа в сельском хозяйстве не привлекательна ни с точки зрения должностных обязанностей, ни с точки зрения зарплаты. В связи с чем необходимо повышать престиж этой профессии [6].

Также отдельным вопросом в сельском хозяйстве можно выделить низкий уровень цифровизации. Но несмотря на то, что Татарстан занимает лидирующие позиции по цифровизации сельского хозяйства, к сожалению, IT-технологии внедрены далеко не в каждом районе. А в настоящее время именно IT-технологии способны улучшить процессы производства сельхозпредприятий. И, как показывает практика, цифровые технологии для модернизации работы используют лишь 35% всех сельхозпредприятий.

И неоспоримым фактором является и то, что и на организацию труда, и на обучение сотрудников, и на увеличение издержек негативно влияет низкий уровень цифровизации. Соответственно, необходимо обратить внимание на взаимосвязь данных проблем [7].

Как показал анализ имеющихся продуктов на рынке, среди которых такие успешные проекты как Сеть RTK-станций по Республике Татарстан, Онлайн-образование «АгроОнлайн», AgroHH, Цифровой профиль сельхозтоваропроизводителя, Агрополия , Единая идентификация

животного, Единый диспетчерский центр мониторинга транспорта и др. довольно сложно и затратно использовать все предложения, соответственно положительный эффект может быть от объединения лучших функций, существующих предложений в единую инновационную платформу с добавлением своих уникальных модулей, которые необходимы как для фермеров, так и для органов власти. В этой связи, для повышения имиджа аграрного сектора необходимо внедрение инновационного подхода, и одним из них является цифровая площадка [8].

На рис. 3 представлены функциональные возможности площадки.

Данная площадка предназначена как для агрономов, фермеров и сельскохозяйственных производителей в целом, так и для органов власти.

Так, мы видим, что модуль позволит устанавливать эффективное и выгодное сотрудничество партнеров и в минимальные сроки обеспечивать необходимыми материалами и ресурсами сельскохозяйственные предприятия [9].

Преимущества предлагаемой платформы заключаются в том, что в одном месте располагается все необходимое для эффективной работы, с довольно удобным интерфейсом, понятным для всех. Также значительным преимуществом данной платформы является то, что она дает возможность сократить бюрократические процедуры [10].

Кроме финансовой выгоды, у цифровой площадки имеется еще ряд положительных аспектов реализации.

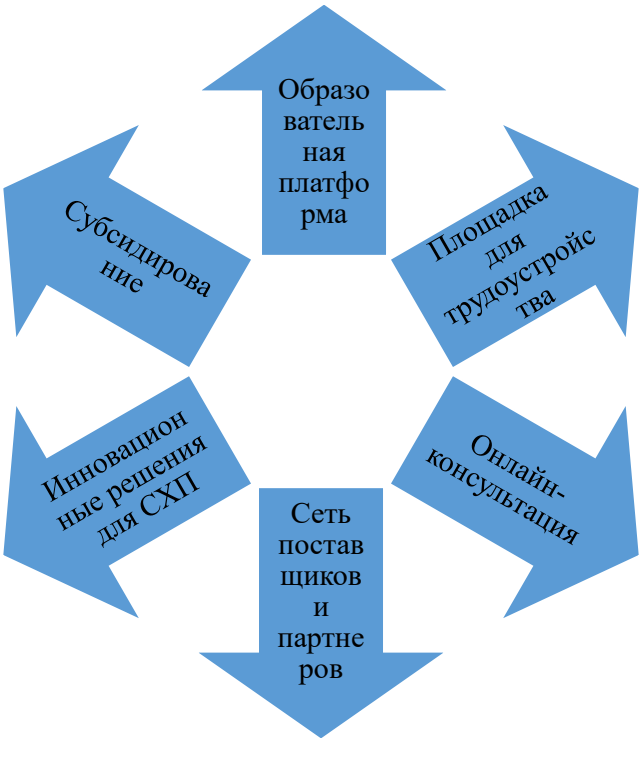


Рис. 3. Функциональные возможности инновационной цифровой площадки

Характеристики данного модуля можно увидеть на рис. 4.

1. Как считают авторы, примерно на 10-15% ежегодно возможно будет увеличить количество занятых в сельском хозяйстве, и все благодарю внедрению на площадку образовательной среды, что позволит повысить привлекательность деятельности в аграрном секторе.

Данная платформа позволит проводить переподготовку и подготовку кадров, занятых в сельскохозяйственных организациях. Предоставляемая возможность проведения обучения поможет привлечь новые кадры в сельское хозяйство. Возможность использования всех имеющихся ресурсов данной платформы позволит будущим сельхозпроизводителям определить все риски, изучить меры поддержки, и найти инвесторов для своей деятельности.

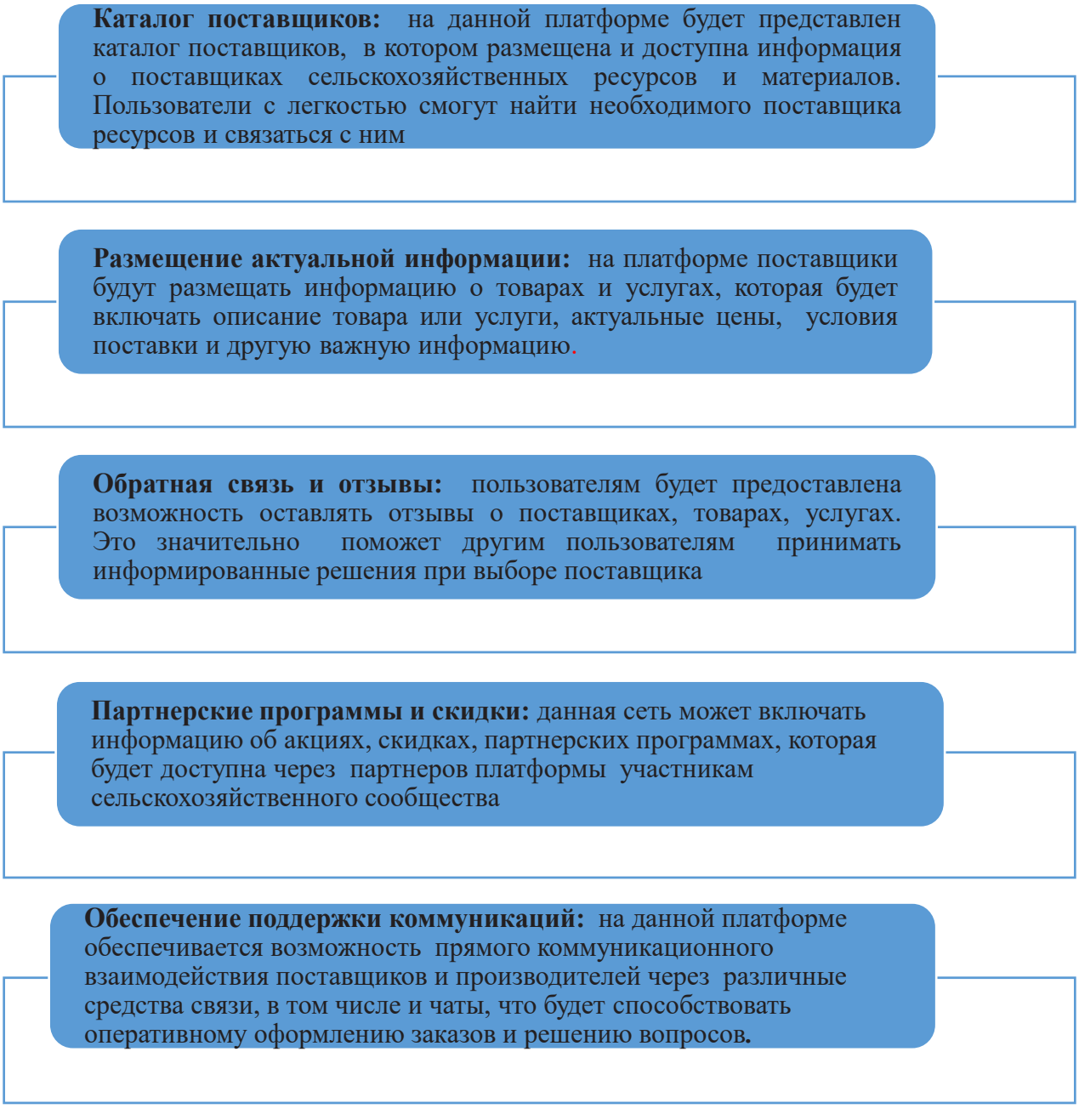


Рис. 4. Основные характеристики и функции модуля «Сеть поставщиков и партнеров»

2. За счет правильно подобранных инновационных решений цифровая платформа позволит оптимизировать большую часть процессов в сельском хозяйстве.

3. В Республике Татарстан будет обеспечен рост конкурентоспособности производителей сельскохозяйственной продукции. Осуществляться он будет в силу внедрения и использования предлагаемой разработанной платформы за счет использования стратегии развития, инновационного подхода, развития квалифицированного персонала.

4. Стимулирование инноваций. Инновации не всегда обязательно должны быть направлены на создание революционных, новых производств. Инновации могут носить «улучшающий» или «догоняющий» характер. А платформы технологического характера служить инструментом реализации успешных инновационных технологий и практик. Усовершенствовать многочисленные процессы как раз и позволить создание единой платформы.

Выводы

Реализация цифровой платформы даст возможность прогрессировать сельскохозяйственным предприятиям. Достичь целевых показателей путем реализации государственных программ в сфере развития аграрного сектора значительно быстрее позволит данная платформа. От того насколько слаженно будут действовать все стороны зависит эффективность предложенных мероприятий.

Подводя итоги, можно сказать, что этот проект позволит существенно упростить множественные процессы в деятельности организаций сельского хозяйства. Цифровая площадка также способствует повышению эффективности реализации государственных программ в сфере развития АПК путем предоставления ряда ресурсов для агрономов, фермеров и сельскохозяйственных организаций.

Список литературы

1. Яруллина, Л. З. Зарубежный опыт регулирования деятельности государственных и муниципальных органов власти в сфере государственной поддержки агропромышленного комплекса региона / Л. З. Яруллина, Г. А. Валеева – Текст: электронный // Актуальные проблемы государственного и муниципального управления в условиях цифровой трансформации экономики Сборник научных трудов по материалам IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Казань, 24–25 января 2024 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. – С. 672-678 https://elibrary.ru/item.asp?id=74534135 (дата обращения: 05.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

2. Муртазина, К. И. Проблемы реализации национального проекта России «Цифровая экономика» в Республике Татарстан / К. И. Муртазина, А. Г. Заруцкий, Ф. Т. Гилазов [и др.] – Текст: электронный // Актуальные проблемы государственного и муниципального управления в условиях цифровой трансформации экономики : Сборник научных трудов по материалам IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Казань, 24–25 января 2024 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. – С. 391-399. https://elibrary.ru/item.asp?id=74534123 (дата обращения: 05.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

3. Valiev A.R. Innovative technologies in the field of state control and supervision. In: Valiev A.R., Safiullin N.A. (eds.) – Текст: электронный // Current Problems of State and Municipal Management in the Context of the Digital Transformation of the Economy, pp. 92-102. Kazan State Agrarian University, Kazan. https://elibrary.ru/item.asp?id=89077091 (дата обращения: 11.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

4. Mikhaylova, L.V., Mukhametaliev, F.N., Valiev, A.R. Development of small agribusiness entities in the Republic of Tatarstan. – Текст: электронный // Kazan State Agrarian University, Kazan. https://elibrary.ru/item.asp?id=89077388 (дата обращения: 11.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

5. Safiullin, N.A., Valiev, A.R. The main directions of increasing the level of digital maturity of agro-industrial enterprises. – Текст: электронный // Vestnik of the Kazan State Agrarian University 1(77): 134-142. https://elibrary.ru/item.asp?id=83255739 (дата обращения: 11.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

6. Заруцкий, А. Г. Национальные проекты России и их роль в социально-экономическом развитии страны / А. Г. Заруцкий, К. И. Муртазина, Д. И. Файзрахманов [и др.] – Текст: электронный // Актуальные проблемы государственного и муниципального управления в условиях цифровой трансформации экономики: Сборник научных трудов по материалам IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Казань, 24–25 января 2024 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. – С. 245-253. https://elibrary.ru/item.asp?id=74534079 (дата обращения: 11.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

7. Кривоногов, А. Д. Развитие творческо-познавательной деятельности студентов с применением искусственных интеллектуальных систем – Текст: электронный // А. Д. Кривоногов, М. М. Хисматуллин, Э. А. Хисматуллина [и др.] // Казанская наука. – 2025. – № 4. – С. 210-212. https://elibrary.ru/item.asp?id=82444489 (дата обращения: 11.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

8. Валеев, А. З. Проектное управление как основа повышения качества государственного и муниципального управления / А. З. Валеев, З. Т. Гайнуллина, Д. И. Файзрахманов [и др.] – Текст: электронный // Актуальные проблемы государственного и муниципального управления в условиях цифровой трансформации экономики : Материалы V всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Казань, 23–24 января 2025 года. – Казань : Казанский государственный аграрный университет, 2025. – С. 259-265. https://elibrary.ru/item.asp?id=74534080 (дата обращения: 11.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

9. Сидорова, Е. В. Повышение эффективности реализации государственных программ в сфере развития агропромышленного комплекса / Е. В. Сидорова, Л. Т. Яхина, А. Т. Исхаков, Ч. М. Куракова. – Текст: электронный // Актуальные проблемы государственного и муниципального управления в условиях цифровой трансформации экономики : Сборник научных трудов по материалам IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Казань, 24–25 января 2024 года. – Казань : Казанский государственный аграрный университет, 2024. – С. 555-562. https://elibrary.ru/item.asp?id=74534119 (дата обращения: 11.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

10. Галеев, Д. Э. Современные виды инновационных технологий в России в сфере телекоммуникаций, медиа и маркетинге / Д. Э. Галеев, Р. Р. Хамизов, В. З. Миннигалеева. – Текст: электронный // Актуальные проблемы государственного и муниципального управления в условиях цифровой трансформации экономики : Материалы V всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Казань, 23–24 января 2025 года. – Казань : Казанский государственный аграрный университет, 2025. – С. 192-200. https://elibrary.ru/item.asp?id=83255493 (дата обращения: 11.06.2026). – URL: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

СОСТАВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА ПО ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИЮ МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА KAZAN DIGITAL WEEK – 2026

Утвержден распоряжением
Кабинета Министров
Республики Татарстан
от 03.03.2026 № 350-р

Руководство организационного комитета:

Шадаев Максут Игоревич, министр цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, председатель организационного комитета

Шайхутдинов Роман Александрович, заместитель Премьер-министра Республики Татарстан, заместитель сопредседателя организационного комитета

Гафаров Шамиль Хамитович, заместитель Премьер-министра Республики Татарстан, руководитель Аппарата Кабинета Министров Республики Татарстан, заместитель председателя организационного комитета

Начвин Илья Сергеевич, министр цифрового развития государственного управления, информационных технологий и связи Республики Татарстан, заместитель сопредседателя организационного комитета

Минниханов Рифкат Нургалиевич, президент Академии наук Республики Татарстан, председатель Совета АСЦР, директор государственного бюджетного учреждения «Безопасность дорожного движения», заместитель сопредседателя организационного комитета

Габдрахманов Булат Фанилович, заместитель министра цифрового развития государственного управления, информационных технологий и связи Республики Татарстан, секретарь организационного комитета

Члены организационного комитета:

Абдуллазянов Эдвард Юнусович, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Абдулхаков Амир Айдарович, директор МКУ «Автоматизированная система управления дорожным движением» (по согласованию)

Абдулхаков Айдар Камилевич, генеральный директор МУП «Метроэлектротранс»

Адгамова Юлия Ильдаровна, первый заместитель министра культуры Республики Татарстан

Алексеева Жанна Владимировна, статс-секретарь, заместитель министра культуры Российской Федерации (по согласованию)

Аникин Игорь Вячеславович, заместитель проректора по научной деятельности и цифровизации ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ (по согласованию)

Ахмадиева Роза Шайхайдаровна, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», руководитель ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан»

Аюкасов Рустам Анатольевич, первый заместитель министра финансов Республики Татарстан

Бурганов Рафис Тимерханович, ректор ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»

Вахитов Радик Рафикович, представитель Министерства иностранных дел России в г. Казани

Власов Руслан Игоревич, директор ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий «ИТ-парк»

Галиев Дамир Расилович, директор НО «Инвестиционно-венчурный фонд Республики Татарстан» (по согласованию)

Ганиев Марат Фуатович, руководитель объединения «Татармультфильм» (по согласованию)

Гарипов Ленар Наилевич, первый заместитель министра сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан

Гарипов Рустем Рамилевич, начальник Управления государственной инспекции безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел по Республики Татарстан (по согласованию)

Гасников Александр Владимирович, ректор АНО ВО «Университет Иннополис» (по согласованию)

Гильманов Рафаиль Валиевич, секретарь Совета Безопасности Республики Татарстан (по согласованию)

Губайдуллин Эмиль Фидаилевич, генеральный директор АНО «Центр развития профессиональных компетенций»

Гузаиров Айдар Фаилевич, генеральный директор ООО «Инностейдж»

Гущин Иван Николаевич, председатель Комитета Республики Татарстан по охране объектов культурного наследия

Давыдова Полина Михайловна, директор Ассоциации «Цифровой транспорт и логистика» (по согласованию)

Данилов Эдуард Юрьевич, директор ГКУ «Главтатдортранс»

Девин Алексей Михайлович, директор Департамента развития ФГУП «ЗащитаИнфоТранс Министерства транспорта Российской Федерации» (по согласованию)

Дулат-Алеев Вадим Робертович, ректор ФГБОУ ВО «Казанская государственная консерватория имени Н.Г. Жиганова» (по согласованию)

Едельсков Алексей Евгеньевич, директор ГКУ «Центр цифровой трансформации Республики Татарстан»

Ефремов Андрей Анатольевич, заместитель министра здравоохранения Республики Татарстан

Журавлев Антон Дмитриевич, заместитель генерального директора ФАУ «Российский дорожный научно-исследовательский институт» (по согласованию)

Звездин Евгений Юрьевич, заместитель генерального директора по цифровому развитию ПАО «Татнефть»

Зиганшин Азат Ильдусович, министр экологии и природных ресурсов Республики Татарстан

Зиннуров Фоат Канафиевич, начальник ФГКОУ ВО «Казанский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации» (по согласованию)

Иванов Сергей Евгеньевич, председатель государственного комитета Республики Татарстан по туризму

Казаков Юрий Михайлович, ректор ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Калинин Константин Михайлович, руководитель Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации (по согласованию)

Кудряшев Владимир Николаевич, заместитель министра строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Республики Татарстан

Кулешов Юрий Николаевич, директор Казанского института (филиала) ФГБОУ ВО «Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России) (по согласованию)

Махмутов Ильнур Наваилевич, директор Управления федеральной почтовой связи «Татарстан почтасы» акционерного общества «Почта России» (по согласованию)

Метшин Ильсур Раисович, глава муниципального образования г. Казани (по согласованию)

Миннегалиев Роберт Хамитович, генеральный директор автономной некоммерческой организации «Центр развития и поддержки конгрессно-выставочных, культурных, зрелищно-развлекательных, спортивных и социально ориентированных мероприятий «Казань Экспо» (по согласованию)

Минуллина Талия Ильгизовна, руководитель Агентства инвестиционного развития Республики Татарстан

Нигметзянов Марсель Ильшатович, заместитель генерального директора концерна «Телематика» (по согласованию)

Низамов Рашит Курбангалиевич, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» (по согласованию)

Нуриев Ильшат Габделфартович, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» (по согласованию)

Омельчук Андрей Владимирович, заместитель министра науки и высшего образования Российской Федерации (по согласованию)

Пашко Валерий Александрович, генеральный директор Ассоциации предприятий и промышленников Республики Татарстан (регионального объединения работодателей) (по согласованию)

Перегудов Виктор Юрьевич, заместитель начальника Управления научно-технических исследований и информационных технологий Федерального дорожного агентства (по согласованию)

Поляков Дмитрий Владимирович, ректор УВО «Университет управления «ТИСБИ»

Прытков Евгений Александрович, начальник управления организации охраны общественного порядка и взаимодействия с органами исполнительной власти Республики Татарстан и органами местного самоуправления Министерства внутренних дел по Республике Татарстан (по согласованию)

Савва Арсен Владимирович, директор государственного автономного учреждения «Центр научно-технической информации Республики Татарстан» (по согласованию)

Салимгараев Айдар Саитгараевич, руководитель Республиканского агентства по печати и массовым коммуникациям «Татмедиа»

Салимов Руслан Рафаилевич, управляющий отделением «Банк Татарстан» № 8610 (по согласованию)

Сафин Артем Русланович, директор некоммерческой организации «Ассоциация содействия цифровому развитию» (по согласованию)

Ташимов Борис Манаширович, заместитель министра транспорта Российской Федерации (по согласованию)

Тимирясова Асия Витальевна, ректор ЧОУ ВО «Казанский инновационнный университет имени В.Г. Тимирясова» (по согласованию)

Трошина Елена Николаевна, директор Департамента цифровизации и технологического развития Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (по согласованию)

Хадиуллин Ильсур Гараевич, министр образования и науки Республики Татарстан

Хайруллина Нурания Фазыловна, заместитель управляющего Отделением – Национальным банком по Республике Татарстан Волго-Вятского главного управления Центрального банка Российской Федерации (по согласованию)

Халимов Ренат Азатович, генеральный директор АО «Республиканский информационно-вычислительный центр» (по согласованию)

Халиуллин Нияз Андреевич, генеральный директор АО «Центр информационно-вычислительный центр» (по согласованию)

Халяпов Альберт Айратович, генеральный директор АО «Центр информационных технологий Республики Татарстан» (по согласованию)

Ханифов Фарит Мударисович, министр транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан

Хасанов Рустем Шамильевич, директор Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГАОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава Российской Федерации

Черников Михаил Юрьевич, начальник Главного Управления по обеспечению безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации (по согласованию)

Шагиахметов Мидхат Рафкатович, заместитель Премьер-министра Республики Татарстан– министр экономики Республики Татарстан

Шарифуллин Рамиль Анварович, директор Казанского филиала ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия»

Шейкин Артем Геннадьевич, первый заместитель председателя Комитета Совета Федерации по конституционному законодательству и государственному строительству (по согласованию)

Шпак Василий Викторович, заместитель министра промышленности и торговли Российской Федерации (по согласованию)

Эркенова Виктория Вячеславовна, заместитель председателя правления по интеллектуальным транспортным системам и цифровизации Государственной компании «Российские автомобильные дороги» (по согласованию)

Фаррахов Айрат Закиевич, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (по согласованию)

СОСТАВ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ ПО ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИЮ МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА KAZAN DIGITAL WEEK – 2026

Руководство рабочей группы:

Гафаров Шамиль Хамитович, заместитель Премьер-министра Республики Татарстан – руководитель Аппарата Кабинета Министров Республики Татарстан, председатель рабочей группы

Ахмадиева Роза Шайхайдаровна, ректор ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры» – руководитель ОСП «Научный центр безопасности жизнедеятельности Академии наук Республики Татарстан», заместитель председателя рабочей группы (по согласованию)

Габдрахманов Булат Фанилович, заместитель министра Минцифры РТ, заместитель председателя рабочей группы (по согласованию)

Минниханов Рифкат Нургалиевич, президент ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан», председатель Совета Ассоциации содействия цифровому развитию, заместитель председателя рабочей группы

Члены рабочей группы:

Аникин Игорь Вячеславович, заведующий кафедрой систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «КНИТУ им. А. Н. Туполева – КАИ»

Антошкин Сергей Александрович, заместитель директора Департамента цифрового развития и управления государственными информационными ресурсами АПК Минсельхоза России

Астафьев Игорь Владимирович, первый заместитель генерального директора АНО «Казань Экспо»

Ахметова Ирина Гареевна, проректор по развитию и инновациям ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аглиуллин Руслан Чулпанович, директор по продажам и развитию бизнеса ООО «Иностейдж»

Арсланова Диляра Айратовна, главный специалист отдела гостевых мероприятий АНО «Казань Экспо»

Арсланова Карина Маратовна, ведущий менеджер по организации бизнеса ООО «Иностейдж»

Бегишев Ильдар Рустамович, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института цифровых технологий и права, профессор кафедры уголовного права и процесса ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В. Г. Тимирясова»

Беркман Юрий Викторович, директор по цифровым технологиям и административным сервисам ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Богданов Сергей Юрьевич, заместитель директора Департамента управления делами и цифровой трансформации Министерства культуры Российской Федерации

Бадыков Азат Фанильевич, начальник Управления архитектуры и градостроительства Министерства строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства РТ

Будаева Ксения Кирилловна, начальник сектора проектов развития некоммерческой организации «Инвестиционно-венчурный фонд Республики Татарстан»

Баязитова Гузель Муниваровна, начальник отдела информационно-аналитической работы Министерства по делам молодежи РТ

Валеева Юлия Сергеевна, первый проректор, проректор по науке Казанского кооперативного института (филиала) Российского университета кооперации

Валеева Диана Зиннуровна, заместитель начальника Центра разработки и сопровождения информационных систем ГБУ «БДД»

Вагапова Альбина Рустемовна, главный менеджер по связям с общественностью ООО «Инностейдж»

Габдуллин Камил Азатович, помощник сенатора Российской Федерации А.Г. Шейкина

Галяутдинова Алина Раифовна, административный директор АНО «Центр развития профессиональных компетенций»

Ганеева Гульназ Фанузовна, ведущий специалист сводно-аналитического отдела АН РТ

Ганиев Азат Маратович, директор ООО «Татармультфильм»

Гаранина Инна Геннадьевна, начальник отдела научных исследований Казанского филиала ФГБОУ ВО «Всероссийский государственный университет юстиции»

Гарипов Рустем Рамилевич, начальник Управления ГИБДД МВД по РТ

Гарифуллина Райса Шамилевна, начальник отдела государственного регулирования туристской деятельности государственного комитета РТ по туризму

Гарифуллина Резеда Саитовна, проректор по учебной работе ФГБУ ВО «Казанский государственный институт культуры»

Гизатуллин Рафаэль Асхатович, начальник управления делами ГБУ «БДД»

Гильмутдинова Алсу Азатовна, заместитель директора Ассоциации содействия цифровому развитию (РТ)

Гладышев Евгений Викторович, заместитель руководителя Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации

Глотов Дмитрий Александрович, начальник отдела по работе с пресс-службами и связям с общественностью республиканского агентства по печати и массовым коммуникациям «Татмедиа»

Гумеров Ленар Асхатович, первый заместитель директора Казанского филиала ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия»

Гилазиев Адель Ильшатович, заместитель генерального директора по развитию ИТ-проектов ОЭЗ «Иннополис»

Габети Евгения Бадриевна, специалист Ассоциации «Цифровой транспорт и логистика», г. Москва

Дагаева Мария Витальевна, начальник Центра разработки и сопровождения информационных систем ГБУ «БДД»

Дмитриева Инга Витальевна, главный специалист по связям с общественностью отдела маркетинга и связей с общественностью ФГУП «ЗАЩИТАИНФОТРАНС» Министерства транспорта Российской Федерации

Ефимова Надежда Валерьевна, заведующая сектором цифровизации Минсельхоза РТ

Радионовский Даниил Павлович, ведущий советник Министерства промышленности и торговли РТ

Епифанцева Марина Геннадьевна, заместитель руководителя Агентства Инвестиционного развития РТ

Ефремов Андрей Анатольевич, заместитель министра здравоохранения РТ

Егоров Роман Юрьевич, руководитель проектов ЗАО «Инспектра»

Зинатуллин Рустем Галимзянович, ведущий советник отдела развития информационных технологий и безопасности Министерства образования и науки РТ

Ибрагимова Алина Рамилевна, главный специалист сектора конгрессно-выставочной деятельности ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»

Илюхина Александра Сергеевна, заместитель начальника отдела Департамента управления делами и цифровой трансформации Министерства культуры Российской Федерации

Калимуллин Марат Назипович, первый проректор – проректор по научной работе и цифровой трансформации ФГБОУ ВО «КГАУ»

Камалов Рустем Ильдарович, заместитель президента, руководитель аппарата ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»

Камалтдинов Ильсур Илдусович, управляющий делами Министерства сельского хозяйства и продовольствия РТ

Карпенко Луиза Гайнутдиновна, заместитель директора по региональному здравоохранению Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава РФ

Карпов Евгений Александрович, заместитель начальника отдела цифровой трансформации в сфере науки Департамента цифрового развития Минобрнауки России

Карякин Арсений Андреевич, начальник управления международных и муниципальных связей Муниципального образования г. Казани

Кузьменко Иван Юрьевич, заместитель директора Департамента цифровых технологий Минпромторга РФ

Кузьмина Евгения Евгеньевна, руководитель направления по продвижению образовательных программ ООО «Инностейдж»

Козырева Фания Фаисовна, начальник отдела научных исследований, инноваций и развития профессиональных компетенций Министерства культуры РТ

Куканов Александр Владимирович, первый заместитель директора – технический директор ГКУ «Главтатдортранс»

Лобанов Михаил Юрьевич, руководитель отдела поддержки ИТ инфраструктуры УФПС «Татарстан Почтасы»

Митрошин Дмитрий Викторович, начальник ФКУ «Научный центр безопасности дорожного движения МВД России»

Мингалимов Ильфат Маратович, начальник отдела развития инноваций Министерства экономики РТ

Миргалимов Ильдар Флусович, заместитель руководителя республиканского агентства по печати и массовым коммуникациям «Татмедиа»

Матвеев Дмитрий Олегович, руководитель центра сервисов кибербезопасности ООО «Инностейдж»

Мухаметзянова Алиса Галиулловна, заместитель генерального директора Акционерного общества «Республиканский информационно-вычислительный центр»

Музипов Рамис Гаптраисович, первый заместитель министра образования и науки РТ

Модина Наталья Николаевна, специалист ассоциации «Цифровой транспорт и логистика» г. Москва

Миронова Вероника Олеговна, ведущий методолог-аналитик ООО «Инностейдж»

Насыйров Рустем Равилович, главный советник отдела по обеспечению деятельности Совета Безопасности РТ

Нурмиев Марат Сайдашевич, начальник отдела информационных и инновационных технологий Министерства здравоохранения РТ

Насретдинов Ильнур Мунирович, заместитель министра экологии и природных ресурсов РТ

Насибуллин Ильдар Ильгизарович, главный инженер МУП «Метроэлектротранс»

Набиуллин Рамиль Рахимович, начальник отдела обмена и защиты информации центра автоматизированной фиксации административных правонарушений в области дорожного движения управления ГИБДД МВД по РТ

Назаренко Андрей Сергеевич, проректор по учебной работе и международной деятельности ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»

Окань Анастасия Сергеевна, менеджер по организации мероприятий концерна «Телематика»

Отарашвили Зураб Автандилович, советник ректора АНО ВО «Университет Иннополис»

Порташников Олег Михайлович, заместитель начальника Главного управления по обеспечению безопасности дорожного движения МВД РФ

Пещерова Александра Владимировна, менеджер направления по коммуникациям и событийным проектам Головного отделения Сбербанка РФ

Попов Павел Павлович, главный советник руководителя аналитического центра при Правительстве РФ

Пыров Евгений Геннадьевич, заместитель директора МКУ «АСУДД»

Рахимуллина Альбина Райнуровна, начальник сектора международного сотрудничества ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»

Рахматуллина Миляуша Дамировна, директор Департамента цифровой трансформации ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет»

Сабирзянов Рамис Раисович, начальник управления информационных технологий и связи Главного управления МЧС РФ по РТ

Сарманов Ильдус Нарминович, начальник отдела развития информационных технологий и безопасности Министерства образования и науки РТ

Семенихин Кирилл Владимирович, директор по операционному управлению бизнеса ООО «Инностейдж»

Словцова Анжела Олеговна, начальник отдела правовой, кадровой, мобилизационной и организационной работы Комитета РТ по охране объектов культурного наследия

Смирнов Сергей Викторович, старший преподаватель кафедры экономики, финансового права и информационных технологий в деятельности органов внутренних дел ФГКОУ ВО «Казанский юридический институт МВД РФ»

Суфьянова Ильсия Рифгатовна, начальник отдела делопроизводства, информационного сопровождения и организационной работы ГКУ «Центр цифровой трансформации РТ»

Сергеева Ирина Александровна, заместитель начальника отдела развития цифрового и беспилотного транспорта Департамента цифрового развития Минтранса России

Семенова Диана Марсовна, менеджер направления по коммуникациям и событийным проектам ГОСБ «Сбербанка»

Скворцова Алсу Багаутдиновна, заведующая сектором платежных систем и расчетов Отделения – НБ РТ

Сафиуллин Марат Рашитович, проректор по вопросам экономического и стратегического развития ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Толпейкин Денис Владимирович, заместитель генерального директора ООО «Инностейдж»

Фарахов Ильдар Рамзилевич, заместитель директора – начальника управления развития информационных технологий в сфере БДД, ГБУ «БДД»

Фаррахова Алсу Рашидовна, ведущий советник отдела координации цифровой трансформации отраслей экономики и социальной сферы Министерства цифрового развития государственного управления, информационных технологий и связи РТ

Федорова Ольга Валентиновна, проректор по цифровой трансформации УВО «Университет управления «ТИСБИ»

Файрушин Руслан Ринатович, начальник отдела информационной безопасности Министерства финансов РТ

Фомин Алексей Юрьевич, директор Института транспортных сооружений ФГБОУ ВО «КГАСУ»

Хайрутдинова Дилия Флюровна, директор Департамента науки, информационных технологий и просветительской деятельности ФГБОУ ВО «Казанская государственная консерватория им. Н.Г. Жиганова»

Хилалова Динара Василевна, заместитель директора ГУП РТ «Татарстанский центр научно-технической информации»

Чернов Владимир Львович, начальник технического отдела Ассоциации предприятий и промышленников РТ

Чибрин Алексей Васильевич, заместитель генерального директора по коммерции АО «Центр информационных технологий РТ»

Шакиров Динар Рафикович, заместитель министра экономики Республики Татарстан

Шейко Даниил Алексеевич, руководитель бизнес-инкубатора – Казань ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий «ИТ-парк»

Эркенова Виктория Вячеславовна, заместитель председателя правления по интеллектуальным транспортным системам и цифровизации государственной компании «Российские автомобильные дороги»

Юнусов Рустем Жаудатович, заместитель директора по инновациям и корпоративному развитию ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий «ИТ-парк»

Яруллина Эльмира Амировна, заместитель начальника управления делами ГБУ «БДД»

Ягошин Александр Сергеевич, атташе Представительства МИД России

Ясовеева Ольга Александровна, ведущий менеджер по организации бизнес-мероприятий ООО «Инностейдж»

РЕЦЕНЗЕНТЫ

Аникин Игорь Вячеславович, д.т.н., заместитель проректора по научной деятельности и цифровизации ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»

Булатов Сергей Александрович, д.м.н., заведующий кафедрой симуляционных методов обучения ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет»

Гилазиев Адель Ильшатович, заместитель генерального директора по развитию ИТ-проектов ОЭЗ «Иннополис»

Девятков Владимир Васильевич, д.э.н., главный научный сотрудник центра цифровых технологий Института прикладных исследований Академии наук Республики Татарстан

Дегтярев Андрей Геннадьевич, к.т.н., старший научный сотрудник центра цифровых технологий Института прикладных исследований Академии наук Республики Татарстан

Зиганшин Булат Гусманович, д.т.н., профессор РАН, профессор, первый проректор – проректор по научной работе и цифровой трансформации ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Кох Игорь Анатольевич, д.э.н., профессор кафедры финансовых рынков и финансовых институтов Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Липачев Евгений Константинович, к.ф.-м.н., доцент кафедры «Интеллектуальные технологии поиска» Высшей школы ИТИС ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Муравьева Елена Викторовна, д.пед.н., профессор кафедры ПЭБ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»

Савич Людмила Ефимовна, д.пед.н., профессор кафедры библиотечно-информационной деятельности и интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры»

СОДЕРЖАНИЕ

Мишустин М.В. Приветственное слово ... 3
Mishustin M.V. Greeting ... 4
Миниханов Р.Н. Приветственное слово ... 5
Minnihanov R.N. Greeting ... 6

Интеллектуальные системы мобильности

Бычкова К.А., Подкопаев А.В., Шевцова А.Г. Формирование единой архитектуры интеллектуальных транспортных систем в условиях цифровой трансформации транспортно-дорожного комплекса Российской Федерации ... 7
Ванюшев А.А., Мокшин В.В. V2X и Mesh-технологии в интеллектуальных транспортных системах: применение, перспективы и устойчивость ... 11
Евстигнеев И.А., Солодкий А.И. Система оценки безопасности дорожного движения на основе показателя относительной аварийности ... 17
Иштирякова Л.Х., Зайнуллина М.Р. Факторы спроса и ценообразования на рынке такси ... 22
Курбанов Б., Катасёв А.С. Нейронечеткая модель формирования нечеткой базы знаний для определения сонливости водителей в системах транспортной безопасности ... 29
Мавлиев Л.Ф., Николаева Р.В., Комлев К.Е., Богданович С.В. Подходы к преобразованию данных мониторинга транспортных потоков в структурированные параметры для задач имитационного моделирования ... 35
Миниханов Р.Н., Катасёв А.С., Фахразиев Р.И. Разработка и реализация цифрового двойника парковочного пространства города Казани ... 43
Низамов Р.К., Мавлиев Л.Ф., Николаева Р.В., Мирсияпова Д.Р. Автоматизация сметного дела в дорожном строительстве: современные подходы и перспективы развития ... 49
Никоноров Д.П. Нейронечеткая модель определения состояния утомления водителей в интеллектуальных транспортных системах ... 55
Салахов А.М., Шиндор О.В. Сравнение информативности мю- и бета-ритмов ЭЭГ для классификации моторных образов при управлении мобильным роботом ... 62
Степашкин Д.В., Хафизов И.И. Коллаборативные роботы в промышленности России: перспективы и практическое применение ... 70
Сулейманов А.М., Мавлиева Н.Б., Николаева Р.В., Валеев М.Р. Применение и обзор современных методов машинного обучения и нейронных сетей для прогнозирования свойств и оптимизации состава бетонных смесей ... 78
Сытник А.С., Жданов А.С. Сравнительный анализ архитектур нейросетей для сегментации дорожной сцены в условиях ограниченной видимости ... 85
Сытник А.С., Чигрунов Д.Ф. Применение мобильной робототехнической платформы для визуального мониторинга дорожной обстановки на перекрестках ... 93
Фаизов М.Р., Хабибуллин Ф.Ф., Гельмияров А.И. Практическая реализация электроприводного стенда для исследования сферического механизма с управлением от системы Mach3 ... 97
Федоров В.А. Обнаружение и инстанс-сегментация объектов железнодорожной инфраструктуры и препятствий для автономного вождения поездов ... 101
Шалагин С.В., Захаров В.М. Применение метода статистических испытаний для решения множественной задачи коммивояжёра ... 108

Юнг А.А., Шевцова А.Г., Полещенко Д.А. Рекомендации по использованию безопасных маршрутов для средств индивидуальной мобильности с использованием данных о дорожно-транспортных происшествиях 113

Цифровые технологии в государственном управлении

Абзалилова Л.Р., Дегтярев А.Г., Миниханов Р.Н., Стариков А.Л. Включение ИИ-ассистента в систему контроля исполнения поручений академии наук Республики Татарстан 118
Быковская Т.А. Применение технологий искусственного интеллекта в работе органов власти 125
Гайнетдинов А.Э. Искусственный интеллект в проектах нефинансовых сервисов: экономическая архитектура, механизм оценки эффективности и риск-ориентированное управление 130
Гальперин М.Д., Панин А.А., Прокопьев Н.А. Цифровая экосистема HexTravel как инструмент развития туризма в регионах России (на примере Республики Татарстан) 138
Гарипов А.Ш. Цифровой след: от данных к стимулам 144
Гарипова Е.Н., Гарипов А.Ш. Цифровая институциональная петля 148
Дерзаева Г.Г., Мадаминов Б. Цифровая финансовая отчётность: между нормативным давлением и технологической свободой 154
Дюдин Г.А., Арабов М.К., Хайбуллина С.С. Интеллектуальная каскадная система классификации и организации учебных документов 162
Зиганшина Н.Ф. Применение цифровых технологий как способ противодействия коррупции (на примере города Нижнекамска) 169
Ибрагимова А.М. Векторы развития высокотехнологичного уголовного процесса 175
Ибятов Л.Р. Теоретические основы исследования влияния миграционных процессов на экономическую безопасность региона 182
Кабиров Б.Р. Управление репутационным капиталом региона в условиях цифровой трансформации: механизмы формирования клиентоцентричного правительства 188
Классен А.К., Трофимова Е.Н. Единое цифровое пространство государственной ветеринарной службы Республики Татарстан 196
Лукманов Р.А. Абдрахманова М.В. Мониторинг диффузии искусственного интеллекта: методология калибруемых прогнозов на основе открытых реестров 203
Насрединова М.А. Оценка уровня цифровой зрелости регионов приволжского федерального округа как индикатор реализации концепции «Умный регион» 212
Осипов М.Ю. К вопросу о технологиях формирования машиночитаемого права 220
Патяшина М.А., Панкратова О.Н. Особенности цифровизации деятельности органов и учреждений управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан 236
Петроченков И.А. Алгоритмическая подотчетность публичной власти как конституционно-правовая проблема 240
Петухова А.С. Тройственный союз: как в России поддерживают МСП и к чему это приводит 246
Савеличев М.В. Цифровой дашборд многомерного благосостояния как инструмент стратегического управления регионом: от технократической метрики к ABC-модели 256
Сайфутдинов М.Р., Коржев С.В. Правовой режим применения приложения «Мой налог» 262
Салиев И.Р., Меликов У.А. Правовое регулирование в сфере обращения цифровых валют в России и государствах СНГ в условиях цифровой трансформации энергетики 266

Сафиуллин М.Р., Гурьянов В.И. Зарубежные и отечественные методы регулирования естественных монополий 272
Сафиуллин М.Р., Ельшин Л.А., Дерзаева Г.Г. Функциональный потенциал системы «ИИ-Госплан 2.0» для решения задач импортозамещения в регионах Приволжского федерального округа 275
Сингатуллин И.К., Петрова Г.А., Ятманова Н.М. Анализ применения ФГИС ЛК при ведении лесного хозяйства в Республике Татарстан 285
Тумаков И.К. Использование цифровых технологий при разработке региональных стратегий научно-технологического развития 291
Яхин И.Ф., Трофимов Н.В. Геопространственный анализ и создание цифровых двойников муниципальных образований на основе данных LiDAR 294

Цифровая индустрия 4.0

Абдуллина А.А., Нгуен Ву Линь, Зиангиров А.Ф. Цифровая оптимизация геометрических параметров инерционных пылеосадочных устройств для повышения эффективности очистки газов 299
Абдуллина А.А., Нгуен Ву Линь, Шарипов И.И. Параметрическая оптимизация угла наклона стенки бункера для минимизации рециркуляции пыли в инерционных пылеосадочных устройствах 307
Антоневич С.В., Максимов В.В. Сравнительный анализ тяговых накопителей электроэнергии для городского пассажирского автотранспорта на примере Санкт-Петербурга 313
Ахметшин Т.Т. Оценка уровня защищенности экономики Республики Татарстан от современных цифровых угроз как инструмент повышения эффективности государственного управления 318
Ахтямова А.О., Гайнутдинов Р.Р. Компьютерное моделирование избирательности удара молнии в летательный аппарат на основе развития метода катящейся сферы 326
Байбулатов И.И., Кокунин П.А. Современные подходы к восстановлению каротажных данных, оценке неопределенности и комплексированию архивной геолого-геофизической информации при выявлении скрытых геологических аномалий 332
Бобров А.Е., Прыгунова М.И. Современные факторы конкурентоспособности предприятий, производящих оборудование плазменной резки 339
Борейк А.А., Агафонов А.А. Сравнительный анализ архитектур нейронных сетей для задачи распознавания эмоций в арабской речи 347
Вагапов А.И., Иванов Д.А., Яникаева К.Ю. Интеллектуальный мониторинг акустических сигналов частичных разрядов в высоковольтных изоляторах 357
Валиуллина С.З. Концепция цифрового двойника региональной контрактной системы для адаптивной поддержки малого предпринимательства 363
Ванюшев А.А., Кладиев А.В. Интеграция искусственного интеллекта в операционные системы: возможности, влияние на ресурсы и риски 370
Васильев В.Л. Влияние цифровых технологий на экономику региона: институциональный анализ развития национальной инновационной системы 375
Гайсин К.Р. Гамма-коррекция в потоковых плис-трактах предобработки видео для нейросетевого обнаружения объектов: анализ методов и обоснование табличной реализации с перестраиваемым параметром 381
Гайсин К.Р. Медианная фильтрация в потоковых плис-трактах предобработки видео для нейросетевого обнаружения объектов: сравнительный анализ методов шумоподавления и обоснование архитектуры с перестраиваемым размером окна 388

Галиев Б.Ю., Григорян К.А. Интеллектуальная система для автоматизации проектирования пользовательских интерфейсов на базе моделей трансформеров и технологии RAG 396
Галимарданов А.Р., Урядникова М.В. Цифровизация кадровых процессов в развитии промышленного предприятия 400
Гарипов Н.Р., Даумов Р.А., Рамеев Д.Р. Оркестратор токовых нагрузок для установок штанговых глубинных насосов (УШГН) 406
Гарипова Е.Н. Цифровой след: от данных к доказательству 414
Гарифьянов Р. И., Андреянов Н.В. Анализ методов компьютерного зрения для контроля использования средств индивидуальной защиты персоналом на промышленном объекте 419
Гатауллов А.А. Основные тенденции развития региональной экономики России в 2020–2024 гг.: аналитика ключевых сдвигов 427
Гатин М.Р., Хузиахметова К.Р. Применение имитационного моделирования и алгоритмов обработки данных для оценки транспортного обслуживания жилого комплекса 434
Гостев В.М. Архитектура системы проектирования сетей передачи данных с интеллектуальной поддержкой принятия решений 442
Гумеров Т.М., Бикмуллина И.И. Сравнительный анализ классических и нейросетевых методов наложения текстур в компьютерной графике 448
Давлатов А.Р., Черняева Т.Н. Вероятностное прогнозирование нарушений целевого времени отклика веб-сервиса при смене нагрузки 455
Демьянова О.В., Муллахметов Э.И. Предиктивная аналитика и интеллектуальная поддержка принятия решений в центрах компетенций по роботизации как инструмент бережливого производства 462
Динмухаметова А.А. Неоднородность научно-технологического развития региональных экосистем 468
Егоров Д.В., Кокунин П.А., Фоминов А.Д. Современное программное обеспечение для разработки и производства акустических систем 473
Еремеев М.С. Интеллектуализация информационных систем предприятий как фактор повышения эффективности управления бизнес-процессами 481
Зиганшин А.М., Барышева О.Б., Хайдаров Р.Р. Разработка приложения FluentPostProc для постобработки задач отрывного течения в системах вентиляции 487
Зорина Т.Г., Стяжкин М.Н., Сафаргалиев М.Ф. Цифровой полигон для авиастроения: практико-ориентированная модель обучения на базе киберфизической фабрики процессов ПИШ КАИ 499
Ибрагимов Э.М. Интеграция технологий индустрии 4.0 (BIM, IOT, AI) в строительный сектор региона: драйверы трансформации и оценка барьеров (на примере Республики Татарстан) 508
Ибрахим Махмуд Мохаммед Омар Абделрехим, Невзорова О.А. Обучение RBF-нейронной сети для адаптивной настройки коэффициентов промышленного ПИД-регулятора при управлении тепловым объектом со случайным варьированием параметров 517
Иванова А.В., Репина Ю.А. Управление качеством банковского сервиса через цифровую трансформацию процесса работы с претензиями 523
Игонин С.О., Старостина Я.К. Гибридные нейросети в управлении роботами-манипуляторами 529
Исмагилов В.В., Гайнутдинов Р.Р. Автоматизация размещения антенных систем на летательном аппарате с применением методов метаэвристической оптимизации 534

Исмагилов Р.Х., Павлова Я.Ю., Гораева Т.Ю. Применение видеоаналитики для повышения эргономичности производственной деятельности предприятий авиастроительного комплекса 541
Кабанов П.А., Зорина Т.Г., Сомов А.Г., Скворцова И.В. Методические особенности построения цифровых двойников систем децентрализованного теплоснабжения 549
Калачева Д.А., Нгуен Ву Линь, Хамитова Д.В. Риски алгоритмического управления производственными процессами 556
Канькина О.А. Информационная система мастерской по ремонту средств вычислительной техники 562
Китаев М.А., Прокопьев Н.А. Метод детерминированной идентификации первопричин блокировки провизионирования подов в Kubernetes на основе модели EFSM 570
Киямутдинов Д.Ф., Камалов Б.И. Enterprise Intelligence Center: методический подход к интеллектуальной автоматизации административно-управленческих бизнес-процессов предприятия 576
Кочергин В.В., Кочергин А.В. Эволюция архитектур детекторов объектов реального времени: от YOLOv10 к YOLOv26 и их применение 582
Крупенникова Д.Е., Гайнутдинов Р.Р. Автоматизация компоновки бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата 589
Крюкова К.Н., Улемджиев О.Б. Технико-правовая модель оценки достоверности показаний при использовании ИИ-помощника следователя: учёт риска галлюцинаций 594
Кузнецов Д.Н., Старостина Я.К. Анализ применения регуляторов при адаптивном управлении электропривода манипуляторов 601
Курбангалиева Д.Л., Курбангалиев Т.Р., Насибуллина А.С. Роль искусственного интеллекта в деятельности организации (на примере электроэнергетического сектора) 609
Лазарев П.С., Павлов П.П., Хуснутдинов А.Н., Мин Сюэ Применение технологии цифровых двойников для повышения энергоэффективности климатических систем зарядных станций во взаимодействии с энергосетью 615
Лещев А.Д. Применение event-driven архитектуры в распределённых системах управления задачами: проектирование и реализация 619
Ломакин И.Н., Камарин В.И. Статистический мониторинг энергопотребления в интегрированной системе менеджмента: от данных Росстата к регрессионной базовой линии 623
Ломакин И.Н., Фадеева А.Н. Применение инструментов бережливого производства в интегрированной системе менеджмента промышленного предприятия 628
Максимова Я.А., Шарипов И.И. Дистанционное обучение инженерной графике: проблемы и пути их решения 634
Маслов С.Ю., Иванов Д.А., Кочеткова А.А. Разработка прибора для определения влажности грунта в полевых условиях 638
Маслов С.Ю., Иванов Д.А., Садыков М.Ф. Программно-аппаратный комплекс дистанционного бесконтактного контроля опорно-стержневых изоляторов 643
Митрофанов С.Е., Хуснутдинов А.Н., Тоиров О.З. Сравнение методов сглаживания нагрузки зарядных станций для электромобилей в условиях цифровизации электроэнергетики 651
Мухаметов Т.И., Прокопьев Н.А. Автоматизированное прогнозирование литологии по данным геофизических исследований скважин 656
Никитин О.В., Кузьмин Р.С., Кузьмин М.Р. Генерация мультиспектральных синтетических данных: повышение эффективности обучения нейросетевых моделей детекции точечных источников эмиссии метана 660
Охлопкова О.Г., Закиров М.Г. Модель выявления недостоверной информации в научном информационном пространстве 669

Павлова Я.Ю., Зорина Т.Г., Сафаргалиев М.Ф. Направления развития авиастроительной отрасли и авиастроительного кластера Республики Татарстан 675
Перов А.М., Невзоров В.Н. Проектирование ИИ-ассистента на основе мультиагентной архитектуры и технологии дополненной генерации с поиском 691
Перов А.М., Тахавова Э.Г. Применение ИИ-агентов для автоматизации процесса создания маркетингового контента 698
Петров Т.И., Туйчиев Ф.Н. Особенности оптимизации синхронных двигателей с постоянными магнитами с многокритериальной целевой функцией 703
Полторыхина С.В. Цифровая устойчивость малого бизнеса в платформенной экономике. Региональный опыт Республики Татарстан 707
Расчислова С.А., Нгуен Ву Линь, Руковишников В.А. Цифровые двойники как инструмент повышения эффективности промышленного производства 712
Расчислова С.А., Нгуен Ву Линь, Претс М.А. Цифровая трансформация промышленных предприятий: факторы эффективности и барьеры внедрения 719
Расчислова С.А., Юдин В.Ю. Прогнозирование потерь теплоты через наружные стены котельных с учетом развития дефектного состояния 727
Рахманкулов Ш.Ф., Гарифуллин М.Ш., Галиев И.Ф. Разделение фаз предзаполнения и декодирования при инференсе больших языковых моделей: экспериментальное исследование 735
Салиева Р.Н. Правовой режим информации, содержащейся в государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса 740
Салтаев А.Д. Цифровая среда региона и вклад рынка логистических услуг в экономику: композитный индекс и предварительная панельная оценка по Приволжскому федеральному округу 743
Сафина Э.Р., Сафиуллин М.Р. Современные тенденции цифровизации как фактора конкурентоспособности территории: экономико-статистический анализ 752
Суворкина А.А., Бурнашев Р.А. Проектирование гибридной геоинформационной системы анализа данных на основе трансформенной модели векторного представления 760
Фирсова Е.Д., Наурусова Г.А., Фирсова Н.В. Сравнительный анализ и тестирование открытых эмбеддинговых моделей для обработки заметок в десктопном приложении 769
Хабибуллин А.Х., Репина Ю.А. Искусственный интеллект как инструмент ускорения разработки рецептур бытовой химии: прогнозирование потребительских свойств по составу 776
Хадиева А.Т. Проблемы и перспективы цифрового управления качеством в контексте Industry 4.0 781
Хазиахметов Б.А., Бикмуллина И.И. Разработка и исследование кроссплатформенной архитектуры интеграции данных в гетерогенных средах на основе событийно-ориентированного подхода 785
Хайрутдинов Т.М. Экономика контекста: методика измерения и снижения стоимости эксплуатации агентных систем на больших языковых моделях 792
Хамидуллин Д.А., Прыгунова М.И. Цифровая трансформация малого и среднего предпринимательства в промышленно развитом регионе (на примере Республики Татарстан) 799
Шаймиева Э.Ш., Гумерова Г.И. Цифровая трансформация процессов создания продуктов стартапами в экосистеме университетского технологического предпринимательства 808
Швецов Л.К., Хайруллина Ю.Р. Цифровая инфраструктура и миграционная стабильность молодежи средних городов Республики Татарстан (на материалах конкретно-социологических исследований) 813

Шибанов А.В., Карташова А.А. Обучаемая маршрутизация запросов в гибридных архитектурах баз данных для IOT-систем 820
Ширинов А.Ш. Цифровая конвергенция ресурсов, технологий и институтов как основа суверенной устойчивости государства Индустрии 4.0 826
Шлямин Д.А., Вафин Р.Р. Сравнительный анализ производительности и удобства интеграции Python (Remote API) и C++ (plugin) при разработке алгоритмов компьютерного зрения для симулированного робота в CoppeliaSim 835
Якунин Р.С. Оптимизация архитектуры нейронных сетей и низкобитное представление весов для инференса в периферийных вычислениях 841
Ярадайкин Д.С., Вафин Р.Р. Сравнительный анализ подходов к программированию роботов в среде V-REP: встроенные скрипты против Remote API 848

Кибербезопасность нового времени

Ахмедова З.Х., Зербалиев А.Т. Разработка многоуровневой интеллектуальной экосистемы «Cyber-X-Guard» для проактивного мониторинга и нейтрализации киберугроз на основе объяснимого ИИ (XAI) 854
Ахметгалиев А.Р., Аникин И.В. Нейросетевая модель детекции аудио стегопреобразований 857
Белкин Е.Н. Контрактно-синтезируемая плоскость управления региональным видеомониторингом в условиях атак агентов искусственного интеллекта 864
Бобро М.Д., Егоренков В.В. OSINT в современной кибербезопасности: методология, источники и практика применения для защиты информационной инфраструктуры 871
Гаврилов М.А. Некоторые вопросы информационной безопасности и защиты тайны следствия в условиях цифровизации уголовного судопроизводства 877
Гайнов И.Д. Кибербезопасность в системе превенции преступности несовершеннолетних: конституционно-правовой и уголовно-правовой аспекты 882
Гайнуллин И.И., Талипов Н.Г., Хусаинов Р.М. Централизованное управление информационной безопасностью предприятия на базе программного комплекса Kaspersky Security Center 887
Гараев И.Р., Шарипов Р.Р. Исследование и разработка методов защиты от внедрения ложных данных в узкополосных сетях NB-PLC для управления освещением и энергораспределением 897
Гараев И.Р., Шарипов Р.Р. Обеспечение конфиденциальности и целостности данных в системах интеллектуального учета электроэнергии на базе PLC-технологий 903
Гареева Г.И. Киберриски в логистике промышленной кооперации: методы идентификации и способы управления 908
Гончаренко В.О., Анисимова Э.С. Разработка программного комплекса биометрической аутентификации человека по походке на основе нейросетевых технологий 916
Гончаров В.В., Хусаинов Р.М., Талипов Н.Г. Разработка интерактивного тренажера для противодействия фишинговым атакам в Telegram 924
Давыдова О.Д., Аникин И.В. Методология и функциональный анализ вредоносного программного обеспечения 932
Захарова А.В. Исследование побочных электромагнитных излучений двухтранзисторного радиомикрофона как источника утечки акустической информации 939
Захарова А.В. Исследование параметров однотранзисторного радиомикрофона как источника технического канала утечки акустической информации 944
Игонин И.Л., Хусаинов Р.М., Юсупов Б.З. Сравнительный анализ методов защиты от сетевых атак в малых информационных системах 951

Исаков Т.Р., Надеждина М.Е. Алгоритмы распознавания лиц при частичном закрытии: обзор современных подходов 956
Казахмедов С.Н. Методы поиска скрытых радиозакладных устройств 960
Казахмедов С.Н. Методы обнаружения проводных закладных устройств 964
Казахмедов С.Н. Методы противодействия визуальному наблюдению в выделенном помещении 969
Карпиков А.С. От идентичности к ответственности цифрового действия 974
Катасёв А.С., Алексеев А.А. Классификация активных окон пользовательских приложений для контроля действий сотрудников в корпоративной ИТ-среде 980
Катасёв А.С., Ашанин Б.Д. Детекция атак на веб-приложения на основе машинного обучения 987
Катасёва Д.В., Черкасов Е.О. Разработка веб-приложения для проведения аудита информационной безопасности 994
Кафарова Р.Д. Дифференциация ответственности за хищения с использованием электронных средств платежа: проблемы правоприменения и пути реформирования 999
Косинов Ю.А Методики тестирования производительности межсетевых экранов 1005
Косинов Ю.А., Шарова А.Ю. Защита информации в новых архитектурах 1011
Курилова Е.И., Лифанов А.Д. Анализ подходов и инструментов к построению интеллектуальных программных средств безопасности жилых комплексов 1018
Миронова В.О. Цифровая личность детей как критическая уязвимость в эпоху искусственного интеллекта: репутационный вред, кража личности и пределы метода стирания данных 1027
Миронова В.О. Цифровое теневое воспитание несовершеннолетних как институциональная проблема кибербезопасности 1034
Овсянников В.И., Котилевец И.Д. Методы генерации промпт-инъекций и инструменты тестирования безопасности больших языковых моделей 1041
Петров В.В. Построение и сравнение статических моделей Android-приложений для выявления клонов и инъекций вредоносного кода 1047
Плотников Н.Л., Ясонов И.А., Сафиуллина Л.Х. Проектирование систем мультимедиа стеганографии на базе отечественных продуктов «Ред Софт» 1056
Сабиров Н.А., Юсупов Б.З. Анализ паразитной ёмкости как инструмент контроля физического периметра 1059
Сабиров Н.А., Юсупов Б.З. Анализ состязания сигналов в JK-триггере как модели атаки Fault Injection 1064
Сабиров Н.А., Юсупов Б.З. Постсинтезный анализ задержек сигнальных путей JK-триггера на плис Artix-7 для оценки характеристик аппаратных средств защиты информации 1070
Сабирова Д.И., Нестеренко С.В., Гришин Е.И. Интеграция SIEM-системы как инструмент повышения уровня защищённости ИТ-инфраструктуры предприятия 1075
Сафиуллина Л.Х., Ахмадиев Б.Т. Использование анонимных интернет-платформ как фактор возникновения угроз информационной безопасности 1081
Сафиуллина Л.Х., Краснова К.А., Фатхетдинов К.Н. Методика тестирования безопасности IoT-устройств на базе протокола LoRaWAN 1086
Терешин А.А., Шеяфетдинова Н.А. Россия на пути противодействия мировой киберпреступности 1095
Фаткуллина Л.Ф. Формирование нечетких правил классификации второго типа для обнаружения сетевых атак 1099
Филяк П.Ю., Шевердак А.А., Беляков Д.В., Смирнова А.М. Технологии искусственного интеллекта в обеспечении информационной безопасности 1106

Хасанов М.Ш., Шарипов Р.Р. Исследование методов воздействия на участок абонентской телефонной сети с целью негласного получения акустической информации 1116
Хасанов М.Ш. Лабораторный стенд для защиты абонентского участка телефонной сети 1120
Черкасов П.А., Хусаинов Р.М., Талипов Н.Г. Нейросетевая модель распознавания дипфейков 1125
Чирка Н.С., Котилевец И.Д. Разработка классификатора промпт-инъекций с интерпретацией предсказаний методами объяснимого искусственного интеллекта 1134
Шибанова З.О., Котилевец И.Д. Система предотвращения утечек данных с помощью методов компьютерного зрения 1141
Шимарева М.А., Анисимова Э.С. Применение сиамской нейронной сети для биометрической аутентификации пользователя по рукописной подписи 1147
Яруллин К.Р. Сравнительный анализ защищённости и производительности классического DNS, DNS-over-TLS и DNS-over-HTTPS 1152
Яруллин К.Р., Талипов Н.Г. Сравнительный анализ традиционного и постквантового обмена ключами в TLS 1.3 1161

Экосистема финтех

Абдулгужин И.Д. Применение искусственного интеллекта в персональных финансах: формирование осознанного управления финансовым состоянием и рисками на примере платформы Monetrix 1169
Булатова Э.И. Платформизация финансовых услуг и трансформация моделей взаимодействия поставщиков и потребителей 1177
Булатова Э.И., Рафикова Л.В. Архитектура цифрового закята в российской финтех-экосистеме 1183
Мухаметшина Д.Р., Смирнова Г.С. Применение смарт-контрактов на платформе цифрового рубля для повышения эффективности бюджетного финансирования государственных учреждений 1190
Сагитова Ю.Р., Егоров А.С., Ишмурадова И.И. Реинжиниринг финансовых процессов субъектов малого предпринимательства в условиях развития экосистем открытого банкинга (Open API) 1196
Салимов Л.Н. Факторы развития рынка утилитарных цифровых прав в контексте стратегирования биоэкономики в России 1200
Сахбиева А.И. Цифровые факторы формирования потребительского спроса на финансовые продукты исламского банкинга в России 1205
Сахбиева А.И. Цифровизация экономики и структурные сдвиги совокупного спроса: макроэкономические последствия 1216
Хабибулина Л.Ф. Цифровые сукук для финансирования инфраструктурных проектов: модель пилотного выпуска в России 1224
Цветков А.И., Кох И.А. Вопросы соответствия нормам исламского финансирования цифровых инструментов хеджирования для внешнеторговых расчётов 1230
Шайдуллина А.Р. Применение технологий искусственного интеллекта в аудите и внутреннем контроле некоммерческих организаций 1236

Инновации, интегрированные в бизнес

Аммар Нажи, Григорян К.А., Мухамеджанов А.И. Сравнение классических моделей машинного обучения и моделей больших языков для прогнозирования оттока клиентов 1241
Багманов И.Д. Мультиагентное обучение с подкреплением для динамического ценообразования в электронной коммерции 1250

Бакстон В.В. Семантико-топологическая модель архитектурного репозитория: синтез мета-онтологий и мета-графов для управления корпоративными и отраслевыми экосистемами 1257
Бобок А.С. Обзор возможностей аналитических решений для бизнеса, усиленных ИИ, в 2026 году в РФ 1265
Ванюшев А.А., Зарайский С.А. Методология создания сайтов для промышленных предприятий и B2B-компаний на основе прогрессивных веб-приложений (PWA) 1271
Галяутдинова К.Р., Зиганшина З.Р. Бизнес-импакт: как корпорации меняют территорию присутствия 1277
Голяков А.А. Процессно-методическая модель внедрения голосового ИИ-ассистента и речевой аналитики в продажи малоэтажного жилищного строительства 1285
Григорян К.А., Иванов Т.П. Разработка архитектуры мультиагентной системы планирования путешествий на основе больших языковых моделей 1292
Егоров А.С., Сагитова Ю.Р., Ишмурадова И.И. Совершенствование информационной системы взаимодействия с клиентами в автосервисе на базе платформы «1С:Предприятие» 1298
Еремеев М.С. Реинжиниринг бизнес-процессов в условиях цифровой трансформации: подход к оценке информационного взаимодействия 1302
Еремеев М.С. Подход к оценке эффективности цифровизации бизнес-процессов предприятия на основе интегральных показателей 1310
Загидуллин З.М. Методы семантического анализа ответов кандидатов при автоматизированном техническом собеседовании 1317
Зарипова А.Р., Игнатьева О.А., Соколов А.Ю. Реинжиниринг бизнес-процессов компании как инструмент устойчивого развития в условиях макроэкономической среды 1324
Зиганшин К.Н. Основные направления и вызовы цифровизации строительной отрасли 1329
Игнатьева О.А., Усанова Д.Ш., Шакиров Р.Н. Декларации и реальность: барьеры и провалы синергии цифровой трансформации и ESG-повестки в управлении устойчивым развитием компании (российский и зарубежный опыт) 1334
Канькина О.А. Разработка информационной системы для диспетчерской службы отдела информационных технологий 1341
Кононов Е.В. Автоматизированное извлечение требований из аудиозаписей совещаний: каскадная мультиметочная классификация и распознавание речи 1349
Кононов Е.В. Построение сбалансированного русскоязычного корпуса требований к программному обеспечению для мультиметочной классификации 1355
Коростелева Д.М., Калимуллина А.Е., Абрамский М.М. Принципы и лучшие практики проектирования архитектуры агентных систем на основе больших языковых моделей 1362
Ли Чжухэ, Кисякова Э.М., Фасахов Т.Р., Игнатьева О.А. Интеграция экономик России и Китая как фактор успешной внешнеэкономической деятельности 1366
Мубараков К.Л. Анализ методов прогнозирования спроса для автоматизации поставок на склады маркетплейсов 1372
Муртазина Г.Р. Формирование экосистем российских IT-гигантов (Яндекс, VK, Сбер): от специализированных сервисов к супераппликациям (2020-2025 гг.) 1378
Низамутдинова З.Ф., Фахрисламова К.А. Аналитика влияния рекламы, созданной генеративными нейросетями, на формирование потребительского доверия и намерения к покупке 1383
Нургалиев М.А., Байрашева В.Р. Разработка автоматизированного ML pipeline для интерпретируемого прогнозирования оттока клиентов телеком-компании с использованием SHAP/LIME и системы непрерывной интеграции и доставки 1389

Савельчев И.А. Особые экономические зоны как инструмент территориального развития и инвестиционной политики России: теоретико-правовые основы и опыт ОЭЗ «Алабуга» 1399
Сагитова Ю.Р., Егоров А.С., Ишмурадова И.И. Автоматизация бизнес-процесса «Контроль качества» и учета несоответствующей продукции на базе платформы «1С:предприятие 8.3» 1409
Садриев А.Р., Шпагина А. Управление эволюцией требований стейкхолдеров в жизненном цикле ИТ-стартапа 1414
Салиева Д.Д., Федорова О.В. Риски внедрения технологий Big Data и машинного обучения в управление маркетплейсами 1421
Сафиуллин М.Р., Гурьянов А.И. Собственные и посреднические электронные торговые площадки B2B на рынках России и мира 1428
Сахбиева А.И. Совершенствование взаимодействия предприятия с потребителями посредством инструментов цифрового маркетинга 1434
Советов И.Н. Цифровизация бизнес-процессов компаний малого бизнеса 1443
Тимофеев Д.Ю. Цифровизация и индустрия 4.0 – инструменты технологической автономии российского автопрома 1448
Титова С.В. Цифровая культура организации: особенности, элементы, инструменты формирования 1455
Фёдорова А.Ю. Методика формирования обучающей выборки для интеллектуального назначения задач разработчикам на основе исторических данных 1460

Цифровые технологии в образовании

Абакумова Н.Н., Цигулева О.В., Червонный М.А. Эволюция образовательных парадигм в эпоху искусственного интеллекта: от конфликта субъектностей к экосистеме доверия 1468
Алексеев Э.Н., Прокопьев Н.А. Онтологически-типизированное построение графов знаний из учебных текстов на основе LLM 1474
Ахмадиева Р.Ш., Гильмеева Р.Х., Сахибуллин М.М. Применение метрических пространств для анализа и персонализации образовательных траекторий 1480
Ахметов А. Цифровые технологии и искусственный интеллект как факторы трансформации кинопроизводства: от авторского к индустриальному измерению 1487
Ахтариева Р.Ф., Шапирова Р.Р. Цифровой разрыв: почему дети знают о калориях больше, чем о чувстве голода 1495
Баутиста Барахас Диксон Алехандро, Каркина С.В. Развитие цифровой компетентности будущего PR-специалиста в процессе использования нейросетевых инструментов 1499
Бурганова Н.Р. Патриотическое воспитание школьников средствами цифрового дизайна на основе народных художественных промыслов 1503
Вахитова И.Р. Цифровая трансформация методов обучения татарскому народному пению: от аутентичности к интеллектуальной среде 1507
Власова-Галасеева Н.М., Смирнов Е.И. Освоение цветовой модели RGB в робототехнике: путь к интеграции математических знаний и цифровых навыков 1511
Галиахметов А.А., Крылова А.С. Интеграция искусственного интеллекта в профессионально-ориентированное обучение англоязычной математической лексике в техническом вузе 1515
Галиуллин А.Р. Цифровые технологии в спортивной подготовке детей среднего школьного возраста: методологические подходы к развитию координации 1520
Геворгян Г.Л., Котилевец И.Д. Моделирование взаимного влияния факторов учебного поведения и уровня знаний студентов с использованием нечетких когнитивных карт 1526

Гильмуллин Р.А., Якубова Д.Д., Селимов Т.С., Гилязова Р.Р., Якубова Д.Д. Генеративный ИИ в методической подготовке урока родного языка: функциональная модель границ автоматизации для платформы «На родном» 1536
Голицына И.Н. Трансформация цифровой образовательной среды ИТ-студентов под влиянием ИИ 1543
Гостев В.М. Подготовка архитекторов интеллектуальных информационных систем: модель и опыт развития цифровой образовательной среды 1550
Елендеев А.Г., Бикмуллина И.И. Построение многомерной аналитической системы на основе MOLAP-технологии в Microsoft SQL Server Analysis Services 1557
Ершова Ю.Н. Возможности применения элементов цифровизации на занятиях русского языка при формировании семейных ценностей 1562
Жоомартов Н.Р., Шарипов И.И. Современные технологии в инженерной графике и их роль в подготовке технических специалистов 1566
Зотина Е.В. Социальная инженерия и искусственный интеллект: точки соприкосновения 1570
Зяббарова А.А. Технология проведения репутационного аудита научно-образовательного учреждения в цифровой среде 1573
Канькина О.А. Применение методов математической статистики для анализа производительности труда: проверка гипотез и регрессионное моделирование 1582
Каркина С.В., Большакова М.А. Развитие начальных музыкальных навыков у младших школьников в процессе работы с мобильным приложением Duolingo 1588
Каркина С.В., Ермошкина С.В. Формирование учебной мотивации обучающихся начальной школы средствами интерактивных арт-технологий 1594
Кириллов Е.И., Прокопьев Н.А. Метод семантико-ограничительного сопоставления образовательных требований и учебных материалов для формирования структуры занятий 1598
Кожевников Н.А., Храмченкова Е.С., Билоус С.И., Исхаков А.Н. Идентификация обучающихся в рамках образовательного процесса с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения в университетах Республики Татарстан 1603
Козлов В.П. Искусственный интеллект и этнокультурный контекст в образовании 1610
Константинова И.С., Низамова Г.М., Панина Е.Н., Овсянников А.П., Бозова Г.Б. Инновационный подход к преподаванию морфологических дисциплин в условиях цифровизации ветеринарного образования 1616
Котилевец И.Д., Ахушков А.З. Многоисточниковый автоматизированный сбор публикаций: архитектура, результативность и границы применимости 1621
Котилевец И.Д., Нагорных Н.А. Применение информационных систем в организации профилактики девиантного поведения обучающихся в общеобразовательных учреждениях 1629
Котоманова С.С. Юрист-аналитик и генеративный искусственный интеллект: трансформация профессиональной идентичности и методология формирования компетенций 1636
Латифуллина А.М., Вафин Р.Р. Применение LLM для оценки открытых ответов в тестировании по ООП 1642
Любягина О.А., Разяпов И.Г. Цифровые технологии в образовании: трансформация педагогической парадигмы в контексте вызовов технологического суверенитета 1649
Маврин О.В., Павлова В.А., Попов В.Н. Удовлетворенность доступностью и качеством оказания государственных услуг по линии подразделений Госавтоинспекции МВД по РТ 1655

Мальков М.Б. Педагогическая дилемма искусственного интеллекта: баланс образовательной пользы и рисков для когнитивного развития учащихся 1661
Мингазов А.А. ИИ-платформа как инструмент цифровизации экспорта образовательных услуг Республики Татарстан (на примере ApplyRussia) 1668
Минеев А.Э. Переносимость учебного содержания для модульных беспилотных авиационных систем 1674
Михайлова О.В., Ибрагимов И.Ф. Вызовы цифровой трансформации и перспективы внедрения 1679
Морева А.А. Применение адаптивных систем на базе искусственного интеллекта в современном образовании 1683
Мухутдинов Р.Ф. Историческая память как медийный ресурс формирования общественного самосознания: образовательный аспект 1688
Низамутдинова З.Ф., Морева Д.В. Формирование основ профессионального самоопределения школьников 6–7 классов средствами цифрового дизайн-моделирования 1694
Низамутдинова З.Ф., Панфилович К.В. Трансформация учебного задания в эпоху генеративного ИИ: промпт как инструмент дизайн-моделирования 1700
Никитенко П.А., Крестьянинова Т.Ю. Влияние феномена «цифрового побега» на социальное развитие ребенка в условиях семейного неблагополучия 1707
Нуриахметова Ф.М., Холоднов В.Г. Общее и особенное в правовом регулировании искусственного интеллекта в образовательном пространстве Европейского Союза и Российской Федерации 1712
Нурмухаметова В.В., Хайрутдинова Э.М. Некоторые аспекты развития отечественной философии искусственного интеллекта 1718
Панасова А.А. Искусственный интеллект в высшем образовании: анализ зарубежных исследований и российских практик 1722
Понкратова С.А., Понкратов А.С. Навыки XXI века: работа с научным текстом и искусственным интеллектом 1729
Пуряев А.С. Образование в эпоху искусственного интеллекта 1733
Ржевская Ю.Е. Социально-психологические факторы референтности молодёжи в цифровом пространстве 1739
Савина Д.В., Хафизов И.И. Применение технологий искусственного интеллекта в управлении молодежной политикой университета 1744
Сайфуллин Р.А., Муллагалиев Д.Р., Шиндор О.В. Мультиагентная система автоматизированной проверки заданий с развёрнутым ответом ЕГЭ по профильной математике и построения образовательной траектории 1751
Салахов М.Н., Салахов И.М. Разработка мобильного приложения для балльного рейтинга студентов 1759
Салиева Р.Н., Тарасова Ф.Х. Новая концепция создания электронного русско-английского словаря фразеологизмов с прозрачной внутренней формой 1764
Сахаров Р.И., Крылова А.С. Преимущества и риски использования искусственного интеллекта при изучении английского языка в неязыковом вузе 1770
Смирнова И.В., Мартыненко О.В., Печеневская М.А. Специализированная цифровая платформа для подготовки специалистов в области экономической безопасности 1776
Солдатова А.В., Солдатов Я.В. Технологии искусственного интеллекта в решении задач современного высшего образования 1782
Степанова З.Р., Валеева Р.З. Использование цифровых технологий для формирования коммуникативной компетенции на начальном этапе обучения китайскому языку 1788
Стрекалова Г.Р., Мочалова Н.В. Искусственный интеллект в образовательном процессе: грани возможного 1793

Ташбаев И.О. Цифровая экосистема предпринимательского образования для вертикально интегрированных агропромышленных цепочек: компетенции управления добавленной стоимостью 1801
Тихонова В.В., Липачёв Е.К. Система автоматической проверки достоверности библиографических источников в научных документах 1804
Хабибрахманов Р.Р., Федорова О.В. Разработка системы оценки тематики научных работ на соответствие стратегическим приоритетам на основе методов обработки естественного языка и семантического анализа 1810
Хамитова Л.М., Хамитова А.Р. Интеллектуальная платформа для изучения профессионального английского языка на основе искусственного интеллекта и проектных кейсов 1815
Хамитова Л.М., Хайрутдинова Э.М. Техническая грамотность нового поколения: цифровые инструменты поддержки чтения англоязычных научных текстов 1822
Хаснутдинова С.В., Зиганшина Н.Л. Использование технологий искусственного интеллекта для разработки учебно-методического материала в процессе обучения профессиональному иностранному языку в неязыковом вузе 1828
Челнокова Т.А., Смирнов В.С. Виральный цифровой образовательный контент в подготовке инженерно-технических кадров 1834
Червонный М.А., Абакумова Н.Н., Глухов А.П. Интеграция искусственного интеллекта в педагогическое наставничество: анализ моделей внедрения и перспективы развития 1839
Шигапова Л.Р. Применение интерактивных методов обучения в преподавании технических дисциплин по специальности «Технология машиностроения» в СПО 1844
Ярхамова А.А., Исламова Л.Р. Особенности преподавания английского языка как иностранного для студентов-билингвов и мультикультурных групп в российском вузе 1851

Цифровые технологии в здравоохранении

Баширов Р.А., Рыжкин С.А., Бурков В.О. Алгоритмизация и автоматизация обработки результатов динамической сцинтиграфии пищевода: опыт разработки программного модуля 1856
Валиев Н.А., Вассаев Е.В., Гимадеев Ш.М., Радченко С.В. Программная симуляция онкологического пациента в системе ведения электронных медицинских карт шестого поколения: от концепции к реализации 1864
Галимзянов А.Ф., Хайруллин Р.Н., Галиуллин А.Н., Каримов И.Ф., Гайфуллина Р.Ф., Валеева Ю.В. Моделирование управления медико-социальными факторами риска болезней системы кровообращения путем разработки программы «Управление медико-социальными факторами риска кардиоваскулярных заболеваний-искусственный интеллект» 1871
Галиуллин А.Н., Юсупов А.Р., Галиуллин Д.А., Юсупова Л.А., Гайфуллина Р.Ф. Математическое моделирование и прогнозирование острых нарушений мозгового кровообращения у лиц пожилого и старческого возраста с применением искусственного интеллекта 1879
Гарипова А.И. Влияние цифровой мультимодальной симуляционной подготовки на формирование клинического мышления студентов-медиков среднего профессионального образования 1889
Гафиятуллин Б.Р., Субаева А.К. Цифровая трансформация системы здравоохранения: региональный аспект и перспективы развития 1895

Дубянский В.М. Применение специализированного искусственного интеллекта «Piastres» для пространственного и временного прогнозирования эпизоотической активности природных очагов особо опасных инфекций 1898
Елина В.В. Количественная оценка устойчивости моделей машинного обучения к нарушениям качества структурированных медицинских данных 1905
Латыпова Ф.И. Модель прогнозирования ежедневной нагрузки медицинской организации как элемент интеллектуальной системы управления цифровой экосистемой стоматологической клиники 1912
Латыпова Ф.И. Модель поддержки принятия решений по формированию расписания записи в стоматологической клинике с учётом вероятности неявки пациентов 1917
Латыпова Ф.И. Концептуальные подходы к архитектуре интеллектуальных систем управления цифровой экосистемой многопрофильного предприятия 1921
Миронова Д.С., Дудалова Е.А. Оценка энергозатрат при силовых тренировках: сравнение расчётных формул и моделей машинного обучения на открытых данных 1926
Нестеренко М.А. Цифровая трансформация как инструмент реализации региональных стратегий развития фармацевтической отрасли в условиях внешних экономических ограничений 1933
Пантюхин Д.В., Рыжкин С.А., Шибаева Н.А., Фирсова О.А. Цифровая трансформация управления региональным здравоохранением: опыт и перспективы Орловской области 1937
Подсвиров Д.В. Цифровые технологии в нормировании труда ветеринарных врачей-хирургов 1943
Пырнова О.А. Нейронечеткая редуцированная модель формирования базы знаний для диагностики патологий позвоночника 1951
Седых В.В., Бурнашев Р.А. Гибридный подход к управлению ресурсами медицинской организации: интеграция машинного обучения и многокритериальной оптимизации 1958
Султанов М.И., Хамидуллин Б.Р., Прокофьева С.Н., Шангареева З.А., Вахитова Г.А., Глебов С.Г. Программа «Цифровой помощник педиатра: калькулятор питания детей первого года жизни» – оптимизация работы врача-педиатра в амбулаторной практике путем персонализированного расчета питания детей первого года жизни 1966
Хисамутдинов А.Н., Альмухаметов А.А., Галиахметов А.И., Абашев А.Р., Гильманов А.А., Юсупова Н.З. Факторы формирования цифровых компетенций медицинских работников при использовании государственных медицинских информационных систем: результаты социологического исследования 1975
Шайдуллина А.Р. Электронный сертификат прививок на Госуслугах Республики Татарстан как инструмент повышения эффективности иммунопрофилактики 1980
Шакирова А.Ф. Цифровые самосохранительные практики населения в условиях распространения технологий искусственного интеллекта: анализ мобильных приложений для здоровья 1987
Шлямин Д.А., Мокшин В.В. Разработка системы распознавания заболеваний походки человека по видеоданным на основе скелетных моделей с учетом изменения ракурса съемки 1996
Ялилов И.И., Смирнова В.В., Саченков О.А. Сравнительный анализ архитектур U-Net, U-Net++, DeepLabV3+ И YOLO11N-seg для сегментации человека на изображениях 2002

Цифровые технологии в культуре

Алвасете Е.Е. Галлюцинирование нейросетевых моделей при переводе поэтической фразеологии 2011
Ахмедова А.М., Жажнева И.В., Жулий А.Д. Нейросетевой алгоритм транскрипции аудиозаписи в нотную графику 2017

Барышев С.А. Особенности определения правового режима цифровых изображений, созданных с помощью технологий искусственного интеллекта 2025
Бяшимов М.Д., Садыкова Л.А. О применении информационных технологий в композиторском творчестве 2031
Галиуллина А.Г., Галиуллин А.Р. Творческая деятельность в контексте взаимодействия человека с системами искусственного интеллекта 2035
Гарифуллина Р.С., Сафин Ф.М. Цифровая память поколений: оцифровка и доступность культурного достояния (на материалах Республики Татарстан) 2038
Гимазов А.Р. Гильмуллин Р.А. Сравнительный анализ фактологической точности генерации текстов на татарском языке с использованием режимов поиска и рассуждения в больших языковых моделях 2044
Иванова И.А., Пегов Е.В. Исследование методов автоматического распознавания и обработки старославянских текстов 2051
Карина Я.В., Солдатова Н.О. Искусственный нарратив: к вопросу о цифровой трансформации языка 2058
Катасёва Д.В., Вагапов А.А. Мобильное приложение для формирования цифрового гардероба пользователя на основе анализа фотографий 2065
Кашинский Е.И., Матвеев Г.К. Искусственный интеллект в пространстве культуры: от художественной репрезентации к практике кинопроизводства 2071
Кашинский Е.И. Комплексная профессиональная подготовка будущих кинооператоров: интеграция технологического, творческого и физического компонентов 2078
Козырев М.А., Шангареева З.С. Философско-социологический анализ влияния цифровых технологий на развитие семьи 2083
Логинова О.А. Трансформация библиотечно-информационной деятельности в условиях внедрения технологий искусственного интеллекта: стратегические перспективы и механизмы этического регулирования 2089
Мальков М.Б. Трансформация культурного наследия в эпоху искусственного интеллекта: технологическая модель на материалах проектов Казани 2095
Малькова А.Н. Компетентностный профиль специалистов творческих профессий в условиях развития креативных индустрий: системный подход к взаимодействию образования, бизнеса и государства 2100
Малькова А.Н. Творческие инкубаторы на базе федеральных образовательных организаций в сфере культуры: институционализация, организационные модели и перспективы развития 2106
Мальцева Е.А., Перелыгин Д.А., Малькова А.Н. Искусственный интеллект как фактор трансформации современного кинематографа: технологическое, художественное и правовое измерения 2114
Низамутдинова З.Ф., Козырева Д.И. Человек и ИИ как соавторы: переопределение границ художественного творчества в цифровой культуре 2119
Потапов А.С., Кириллова А.А. Творческая деятельность в условиях взаимодействия человека и систем искусственного интеллекта 2124
Рыбасова Ю.Ю., Салахов Р.Ф., Салахова Р.И. Этнокультурный код в современном костюме: от традиционных форм к инновационным дизайн-решениям 2131
Савич Л.Е., Сафин Т.Ю. Интерактивные цифровые технологии в библиотечно-информационном обслуживании детей: теоретические аспекты и реалии практики 2135
Сайфутдинова Г.М., Воробьева Е.Е., Ситдиков А.Г., Абдуллоев Ш.Б. Цифровая реконструкция великого шёлкового пути: интеграция глобальных и локальных исследований (на примере археологических памятников Поволжья и Сурхандарьи) 2143
Салахов Р.Ф., Салахова Р.И., Рыбасова Ю.Ю., Ханипова Д.Р. От глобального к локальному: стратегии актуализации культурного кода в дизайне КазГИК 2153

Сироткин Ю.Л. Восприятие личностью цифрового пространства как элемент цифровизации современного российского общества 2156
Смолин Д.В. Автоматизированное распознавание музыкального контента как внесудебный механизм защиты авторских и смежных прав 2163
Суминова Т.Н. Цифровой код традиции: философия культурного суверенитета в эпоху искусственного интеллекта 2168
Терещенко А.Р. Трансформация профессиональных компетенций звукорежиссёра в условиях интеграции искусственного интеллекта в аудиопроизводство 2174
Хамидуллин М.Р., Гатиатуллин А.Р. Моделирование валидного времени в графе знаний диалектологической платформы для представления языковых изменений 2181
Хамидуллин М.Р. Платформенный подход к созданию предметных геоинформационных систем историко-культурного наследия на едином программном ядре 2187
Щеглова М.И., Парфёнов Д.И. Сокращение человеческого контента как технологическая и философская проблема 2195
Януш О.Б., Мухарямов Н.М. Web-пространство как арена языковой политики 2200
Яхина Д.И., Шакирзянова Д.Р. Методология интеграции культурного кода в цифровую проектную деятельность иностранных учащихся на довузовском этапе обучения 2206

Цифровые технологии в сельском хозяйстве

Барышева О.Б., Зиганшин А.М. Интеграция цифровых технологий в процесс термохимической переработки птичьего помета 2210
Валитов Г.Ш. Эмпирический анализ эффектов цифровизации в аграрных регионах России 2219
Волков Р.А., Галиуллин А.К., Магдеева Е.А., Шаева А.Я., Семенова С.А., Красовская Ю.В., Евстифеев В.В. Прополис в эпоху цифрового сельского хозяйства: механизмы антимикробного действия против зоонотических патогенов и роль прогностической аналитики в борьбе с антибиотической резистентностью 2225
Гайнутдинов И.Г., Александрова Н.Р. Приоритетные направления повышения эффективности молочного скотоводства в регионе в условиях цифровизации экономики 2233
Гайфуллин И.Х., Зиганшин Б.Г., Шогенов Ю.Х. Повышение энергоэффективности биогазовой установки за счёт внедрения системы дистанционного контроля и визуализации технологических процессов 2237
Гималтдинов И.Х., Адигамов Н.Р., Садыков М.Р., Айндинов Р.Р. Цифровая система мониторинга и управления процессом электролитического натирания при восстановлении деталей машин агропромышленного комплекса 2245
Горбунов Р.П., Бердник С.В. Выявление ключевых морфометрических признаков, определяющих различия между группировками *Einfeldia pagana* (diptera: chironomidae) с учётом аллометрии в отсутствие рефренного признака 2253
Горшкова А.Т., Горбунова В.П., Семанов Д.А., Бортникова Н.В., Давыдов Д.С. Тенденции изменения внутригодового режима формирования речного стока на территории Республики Татарстан 2259
Горшкова А.Т., Горбунова В.П., Семанов Д.А., Бортникова Н.В., Давыдов Д.С. Инновационные цифровые разработки в области гидрологических исследований, создаваемые в целях охраны окружающей среды и воспроизводства водных ресурсов Республики Татарстан 2266
Евграфов Д.А., Катасёва Д.В. Нейросетевая модель прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур 2272

Елдашев А.О., Папаев Р.М., Ежков В.О., Ежкова А.М. Цифровое животноводство: болюс для мониторинга клинико-физиологического состояния и продуктивности крупного рогатого скота 2278
Зайнулгабидинов Э.Р., Утомбаева А.А., Петров А.М. Сравнительная оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненной почвы при внесении термомеханически модифицированного осадка сточных вод: кинетический подход 2286
Захарова Д.А., Кузнецова Э.М., Ишмурадова И.И. Цифровые двойники ферм КРС: от 3D-модели коровника до прогноза удоев 2291
Клычова Г.С., Низамутдинов М.М., Фахретдинова Э.Н., Поверенный Д.В. Создание сайта для продажи фермерской продукции: этапы и особенности учета 2297
Корнюхов Д.С. Гиперспектральная диагностика посевов в мультисенсорном контуре: методы, ограничения и применение на российских полях 2305
Макаров Д.А., Макаров А.С. Двухэтапная система автоматической диагностики лейкоза крупного рогатого скота с использованием классических решений машинного обучения и компьютерного зрения 2313
Миникаев Д.Т., Файзрахманов Р.Н., Ахметзянова Ф.К. Применение экологичных материалов и 3d-прототипов в животноводстве 2319
Мирзагитов Р.Р., Абдуллин А.И. Автономная оптическая навигация БПЛА для картографирования и мониторинга сельскохозяйственных угодий 2324
Мирзагитов Р.Р., Абдуллин А.И. Разработка бортовой системы визуального мониторинга сельскохозяйственных животных с БПЛА на базе доступного вычислителя Rockchip RK3588 2332
Мустафин И.А., Трофимов Н.В. Мониторинг состояния многолетних травяных агроценозов по данным спутниковой съемки (на примере Лаишевского муниципального района Республики Татарстан) 2339
Нежметдинова Ф.Т., Язид Якоб, Нуриев И.Г., Сириена Аршад Цифровой след халяль и органических продуктов: этична ли прозрачность? 2345
Рязанов С.С., Кулагина В.И. Факторный анализ как инструмент оценки состояния почвенного покрова 2353
Садыков Б.Ф., Шлеймович М.П. Разработка системы для детектирования и сортировки фруктов на основе сверточных нейронных сетей 2361
Саубанов К.Р. Позиции Республики Татарстан в рейтингах цифровой трансформации АПК среди регионов России 2369
Сафин Р.И., Колесар В.А., Сафина Д.Р. Применение цифровых методов в оценке адаптивности сортов сои 2379
Семенов П.Г., Чжан Фусо Федеративное обучение для распределенного прогнозирования урожайности культур на интеллектуальных фермах с использованием разнородных сенсорных данных 2385
Субаева А.К., Александрова Д.З. Цифровая трансформация агробизнеса в Республике Татарстан 2393
Ташбаев И.О. Цифровые платформы и искусственный интеллект в механизме вертикальной интеграции и распределения добавленной стоимости хлопково-текстильной цепочки Узбекистана 2400
Хисамов Р.Р., Файзуллина Т.А. Повышение эффективности роботизированного доения на основе цифрового мониторинга и анализа данных 2404
Хуснутдинов И.И., Вагизов М.Р., Мирсияпов Н.И., Мусин Х.Г. Платформа «Зелёный контур» как инструмент геоинформационного учёта и цифрового управления городскими зелёными насаждениями 2411

Эльебяри Мохсен А.М.Я., Тевяшов Г.К., Загидуллин Л.Р., Папаев Р.М., Ежков В.О., Ежкова А.М. Технологии машинного зрения и нейронных сетей для изучения физиологической активности, сохранения, роста и развития объектов аквакультуры.....2419
Яхина Л.Т., Миннигалеева В.З. Управление процессами цифровизации сельского хозяйства Республики Татарстан.....2424

Состав организационного комитета по подготовке и проведению Международного форума «Kazan Digital Week – 2026».....2432
Состав рабочей группы по подготовке и проведению Международного форума «Kazan Digital Week – 2026».....2436
Рецензенты.....2441

CONTENT

Mishustin M.V. Greeting (rus) 3
Mishustin M.V. Greeting 4
Minnihanov R.N. Greeting (rus) 5
Minnihanov R.N. Greeting 6

Intelligent mobility systems

Bychkova C.A., Podkopaev A.V., Shevtsova A.G. Formation of a unified architecture of intelligent transport systems in the context of digital transformation of the transport and road complex of the Russian Federation 7
Vaniushev A.A., Mokshin V.V. V2X and Mesh technologies in intelligent transportation systems: applications, prospects, and resilience 11
Evstigneev I.A., Solodkiy A.I. Road safety assessment system based on the relative accident rate indicator 17
Ishtiryakova L.H., Zainullina M.R. Determinants of demand and pricing in the taxi market 22
Kurbanov B., Katasev A.S. A neural fuzzy knowledge base model for determining driver sleepiness in transportation security systems 29
Mavliev L.F., Nikolaeva R.V., Komlev K.E., Bogdanovich S.V. Approaches to transforming transport flow monitoring data into structured parameters for simulation modeling tasks 35
Minnikhanov R.N., Katasev A.S., Fakhraziev R.I Development and implementation of a digital twin of the Kazan city parking space 43
Nizamov R.K., Mavliev L.F., Nikolaeva R.V., Mirsiyapova D.R. Automation of cost estimates in road construction: modern approaches and development prospects 49
Nikonorov D.P. Neural fuzzy model for determining the state of drivers' fatigue in intelligent transportation systems 55
Salakhov A.M., Shindor O.V. Comparison of the informativeness of EEG mu- and beta-rhythms for motor imagery classification in mobile robot control 62
Stepashkin D.V., Khafizov I.I. Collaborative robots in Russian industry: prospects and practice 70
Suleimanov A.M., Mavlieva N.B., Nikolaeva R.V., Valeev M.R. Application and review of modern machine learning and neural network methods for predicting the properties and optimizing the composition of concrete mixtures 78
Sytnik A.S., Zhdanov A.S. Comparative analysis of neural network architectures for road-scene segmentation under limited visibility 85
Sytnik A.S., Chigrunov D.F. Application of a mobile robotic platform for visual monitoring of traffic conditions at intersections *93*
Faizov M.R., Khabibullin F.F., Gelmiyarov A.I. Practical implementation of an electric driven stand for research of spherical mechanism with control from Mach3 system 97
Fedorov V.A. Detection and instance segmentation of railway infrastructure objects and obstacles for autonomous train operation 101
Shalagin S.V., Zakharov V.M. Application of statistical testing method to solving the multiple traveling salesman problem 108
Yung A.A., Shevtsova A.G., Poleshchenko D.A. Recommendations for using safe routes for personal mobility devices, based on data from traffic accidents 113

Digital technologies in public administration

Abzalilova L.R., Degtyarev A.G., Minnikhanov R.N., Starikov A.L. Including an AI-assistant in the system for monitoring the execution of orders of the academy of sciences of the Republic of Tatarstan 118
Bykovskaya T.A. Artificial intelligence technologies in public administration: general approaches and electronic document management tools 125
Gainetdinov A.E. Artificial intelligence in non-financial service projects: economic architecture, performance assessment mechanism and risk-oriented management 130
Galperin M.D., Panin A.A., Prokopyev N.A. The HexTravel digital ecosystem as a tool for developing independent tourism in regions of Russia (using the Republic of Tatarstan as an example) 138
Garipov A.Sh. Digital footprint: from data to incentives 144
Garipova E.N., Garipov A.Sh. The digital institutional loop 148
Derzayeva G.G., Madaminov B. Digital financial reporting: between regulatory pressure and technological freedom 154
Dyudin G.A., Arabov M.K., Khaybullina S.S. Intelligent cascading system for the classification and organization of educational documents 162
Ziganshina N.F. The use of digital technologies as a means of combating corruption (a case study of the city of Nizhnekamsk) 169
Ibragimova A.M. Development vectors of high-tech criminal procedure 175
Ibyatov L.R. Theoretical foundations for studying the impact of migration processes on the economic security of a region 182
Kabirov B.R. Regional reputation capital management in the context of digital transformation: mechanisms for forming a customer-centered government 188
Klassen A.K., Trofimova E.N. Unified digital space of the state veterinary service of the Republic of Tatarstan 196
Lukmanov R.A., Abdrakhmanova M.V. Monitoring AI diffusion: a methodology for calibrated forecasting from open registries 203
Nasredinova M.A. Assessment of the level of digital maturity of the Volga federal district regions as an indicator of «Smart region» concept implementation 212
Osipov M.Y. About the questions of technologies for the formation of machine-readable law 220
Patyashina M.A., Pankratova O.N. Features of digitization of activities of bodies and institutions of Rospotrebnadzor for the Republic of Tatarstan 236
Petrochenkov I.A. Algorithmic accountability of public authority as a constitutional law problem 240
Petukhova A.S. Triple alliance: how Russia supports SMEs and what it leads to 246
Savelichev M.V. A digital dashboard of multidimensional well-being as a tool for strategic regional governance: from technocratic metrics to the ABC model 256
Sayfutdinov M.R., Korzhev S.V. The legal regime of using the «My Tax» mobile application 262
Saliev I.R., Melikov U.A. Legal regulation in the sphere of digital currency circulation in Russia and in the CIS countries in the context of the digital transformation of the energy sector 266
Safiullin M.R., Gurianov V.I. Foreign and russian methods of natural monopolies regulation 272
Safiullin M.R., Elshin L.A., Derzaeva G.G. The functional potential of the AI-Gosplan 2.0 system for solving import substitution problems in the regions of the Volga Federal District 275
Singatullin I.K., Petrova G.A., Yatmanova N.M. Analysis of the use of FGIS LC in forestry management in the Republic of Tatarstan 285

Tumakov I.K. Use of digital technologies in developing regional strategies for scientific and technological development 291
Yakhin I.F., Trofimov N.V. Geospatial analysis and creation of digital twins of municipalities based on LiDAR data 294

Digital Industry 4.0

Abdullina A.A., Nguyen Vu Linh, Ziangirov A.F. Digital optimization of geometric parameters for inertial-type dust settling devices to enhance gas cleaning efficiency 299
Abdullina A.A., Nguyen Vu Linh, Sharipov I.I. Parametric optimization of hopper wall inclination angle for dust recirculation minimization in inertial dust settling devices 307
Antonevich S.V., Maksimov V.V. Comparative analysis of traction energy storage systems for urban passenger bus transport: a case study of Saint Petersburg 313
Akhmetshin T.T. Assessment of the level of protection of the economy of the Republic of Tatarstan from modern digital threats as a tool for improving the efficiency of public administration 318
Akhtyamova A.O., Gainutdinov R.R. Computer modeling of lightning strike selectivity on aircraft based on an enhanced rolling sphere method 326
Baibulatov I.I., Kokunin P.A. Modern approaches to well log data reconstruction, uncertainty assessment, and integration of archival geological and geophysical data for detecting hidden geological anomalies 332
Bobrov A.E., Prygunova M.I. Modern competitiveness factors of enterprises manufacturing plasma cutting equipment 339
Boraik A.A., Agathonov A.A. Comparative analysis of neural network architectures for the task of emotion recognition in arabic speech 347
Vagapov A.I., Ivanov D.A., Yanikaeva K.Yu. Intelligent monitoring of acoustic partial discharge signals in high-voltage insulators 357
Valiullina S.Z. Concept of a digital double of the regional contract system for adaptive support of small businesses 363
Vaniushev A.A., Kladiev A.V. Integration of artificial intelligence into operating systems: capabilities, resource impact, and risks 370
Vasilev V.L. The impact of digital technologies on the regional economy: an institutional analysis of the development of the national innovation system 375
Gaisin K.R. Gamma correction in streaming FPGA video preprocessing pipelines for neural-network object detection: analysis of methods and rationale for a look-up-table implementation with a tunable parameter 381
Gaisin K.R. Median filtration in stream PLIS video preprocessing for neural network object detection: comparative analysis of noise suppression methods and justification of architecture with a refitting window size 388
Galiev B.Yu., Grigoryan K.A. Intelligent system for automating user interface design based on transformer models and RAG technology 396
Galimardanov A.R., Uryadnikova M.V. Digitalization of personnel processes in the development of an industrial enterprise 400
Garipov N.R., Daumov R.A., Rameev D.R. Curent load orchestrator for sucker rod pumps (USHGN) 406
Garipova E.N. Digital footprint: from data to evidence 414
Garifyanov R. I., Andreyanov N.V. Analysis of computer vision methods for monitoring personnel use of personal protective equipment at an industrial facility 419

Gataullov A.A. Key trends in the development of Russia's regional economy (2020–2024): an analysis of major shifts 427
Gatin M.R., Khuziakhmetova K.R. The use of simulation modeling and data processing algorithms for assessing service quality of a residential complex 434
Gostev V.M. Data network design architecture with intelligent decision-making 442
Gumerov T.M., Bikmullina I.I. Comparative analysis of classical and neural network methods of texture mapping in computer graphics 448
Davlatov A.R., Chernyaeva T.N. Probabilistic forecasting of web-service SLO violations under workload shift 455
Demyanova O.V., Mullakhmetov E.I. Predictive analysis and intellectual support for decision-making in competence centers on robotics as a tool of lean production 462
Dinmukhametova A.A. Unevenness of scientific and technological development in regional ecosystems 468
Egorov D.V., Kokunin P.A., Fominov A.D. Modern software for the development and production of loudspeakers 473
Eremeev M.S. Intelligent information systems of enterprises as a factor for improving the management of business processes 481
Ziganshin A.M., Barysheva O.B., Khaidarov R.R. Development of the FluentPostProc application for post-processing of separate flow problems for a ventilation systems 487
Zorina T.G., Styazhkin M.N., Safargaliev M.F. Digital polygon for aircraft manufacturing: a practice-oriented training model based on the KAI advanced engineering school's cyber-physical process factory 499
Ibragimov E.M. Integration of industry 4.0 technologies (BIM, IOT, AI) into the regional construction sector: transformation drivers and barriers assessment (case study of the Republic of Tatarstan) 508
Ibrahim Mahmoud Mohamed Omar Abdelrehim, Nevzorova O.A. RBF-neural network training for adaptive setting of industrial coefficients PID-regulator for the management of a thermal object with random variation of parameters 517
Ivanova A.V., Repina Yu.A. Quality management of banking service through digital transformation of the complaints handling process 523
Igonin S.O., Starostina Ya.K. Hybrid neural networks in the control of robotic manipulators 529
Ismagilov V.V., Gaynutdinov R.R. Placement automation of antenna systems on an aircraft with the use of metaheuristic optimization methods 534
Ismagilov R.Kh., Pavlova Ya.Yu., Goraeva T.Yu. The application of video analytics to improve the ergonomics of manufacturing operations in the aircraft manufacturing sector 541
Kabanov P.A., Zorina T.G., Somov A.G., Skvortsova I.V. Methodological features of building digital twins for decentralized heat supply systems 549
Kalacheva D.A., Nguyen Vu Linh, Khamitova D.V. Risks of algorithmic management of manufacturing processes 556
Kankina O.A. Computer hardware repair workshop information system 562
Kitaev M.A., Prokopyev N.A. Method of deterministic identification of root causes for blocking planning weeks in kubernetes based on the EFSM model 570
Kiyamutdinov D.F., Kamalov B.I. Enterprise intelligence center: a methodological approach to the intelligent automation of administrative and management business processes 576
Kochergin V.V., Kochergin A.V. The evolution of real-time object detector architectures: from YOLOV10 to YOLOV26 and their applications 582
Krupennikova D.E., Gainutdinov R.R. Automation of on-board equipment placement in the aircraft fuselage 589

Kryukova K.N., Ulemdzhiev O.B. Technical and legal model for assessing the reliability of testimony when using an investigator's AI assistant: taking into account the risk of hallucinations 594
Kuznetsov D.N., Starostina Ya.K. Analysis of the use of controllers in adaptive control of manipulator electric drives 601
Kurbangalieva D.L., Kurbangaliev T.R., Nasibullina A.S. The role of artificial intelligence in organizational activities (using the example of the electric power sector) 609
Lazarev P.S., Pavlov P.P., Khusnutdinov A.N., Ming Xue Application of digital twin technology to improve the energy efficiency of climate control systems of charging stations in interaction with the energy grid 615
Leshchev A.D. Application of event-driven architecture in distributed task management systems: design and implementation 619
Lomakin I.N., Kamarin V.I. Statistical monitoring of energy consumption in an integrated management system: from Rosstat data to a regression-based energy baseline 623
Lomakin I.N., Fadeeva A.N. Application of lean production tools in the integrated management system of an industrial enterprise 628
Maksimova Ya.A., Sharipov I.I. Distance learning in engineering graphics: problems and solutions 634
Maslov S.Yu., Ivanov D.A., Kochetkova A.A. Development of a device for determining soil moisture in the field 638
Maslov S.Yu., Ivanov D.A., Sadykov M.F. Hardware and software complex designed for remote non-contact testing of support-rod insulators 643
Mitrofanov S.E., Khusnutdinov A.N., Toirov O.Z. Comparison of load-smoothing methods for electric vehicle charging stations in the context of power sector digitalization 651
Mukhametov T.I., Prokopyev N.A. Automated prediction of lithology based on geophysical survey data of wells 656
Nikitin O.V., Kuzmin R.S., Kuzmin M.R. Multispectral synthetic data generation: enhancing neural network training for methane point source detection 660
Okhlopkova O.G., Zakirov M.G. A model for identifying incorrect information in the scientific information space 669
Pavlova Ya.Yu., Zorina T.G., Safargaliev M.F. Directions for the development of the aircraft manufacturing industry and aircraft manufacturing cluster in the Republic of Tatarstan 675
Perov A.M., Nevzorov V.N. Designing an AI assistant based on multi-agent architecture and retrieval-augmented generation technology 691
Perov A.M., Takhavova E.G. The use of AI agents to automate the marketing content creation process 698
Petrov T.I., Tuychiev F.N. Features of synchronous engine optimization with permanent magnets with multi-criteria target function 703
Poltorykhina S.V. Digital resilience of small businesses in the platform economy. Regional experience of the Republic of Tatarstan 707
Rachislova S.A., Nguyen Vu Linh, Rukovishnikov V.A. Digital twins as a tool for improving industrial production efficiency 712
Rachislova S.A., Nguyen Vu Linh, Prets M.A. Digital transformation of industrial enterprises: efficiency factors and barriers to implementation 719
Rachislova S.A., Yudin V.Yu. Forecasting heat losses through the external walls of boiler rooms, taking into account the development of a defective state 727
Rakhmankulov Sh.F., Garifullin M.Sh., Galiev I.F. Separation of prefilling and decoding phases in inferencing large language models: an experimental study 735

Salieva R.N. The legal regime governing information contained in the state information system of the fuel and energy complex 740
Saltaev A.D. Regional digital environment and the contribution of the logistics services market to the economy: a composite index and preliminary panel evidence from the Volga federal district 743
Safina E.R., Safiullin M.R. Modern trends of digitalization as a factor of competitiveness of the territory: economic and statistical analysi 752
Suvorkina A.A., Burnashev R.A. Design of a hybrid geographic information system for data analysis based on a transformer vector representation model 760
Firsova E.D., Naurusova G.A., Firsova N.V. Comparative analysis and testing of open embedding models for note processing in a desktop application 769
Khabibullin A.Kh., Repina Yu.A. Artificial intelligence as a tool for accelerating household chemical formulation development: predicting consumer properties from composition 776
Khadieva A.T. Problems and prospects of digital quality management in the context of Industry 4.0 781
Khaziakhmetov B.A., Bikmullina I.I. Development and research of a cross-platform data integration architecture in heterogeneous environments based on an event-driven approach 785
Khairutdinov T.M. The economics of context: a methodology for measuring and reducing the operational costs of agent systems based on large language models 792
Hamidullin D.A., Prygunova M.I. Digital transformation of small and medium-sized enterprises in an industrially developed region: the case of the Republic of Tatarstan 799
Shaimieva E.Sh., Gumerova G.I. Digital transformation of product creation processes by startups in the ecosystem of university technological entrepreneurship 808
Shvetsov L.K., Khayrullina Yu.R. Digital infrastructure and migration stability of youth in medium-sized cities of the Republic of Tatarstan 813
Shibanov A.V., Kartashova A.A. Learned query routing in hybrid database architectures for IOT systems 820
Shirinov A.Sh. Digital convergence of resources, technologies and institutions as the basis of sovereign stability of Industry 4.0 state 826
Shlyamin D.A., Vafin R.R. Comparative analysis of performance and ease of integration of Python (Remote API) and C++ (plugin) in developing computer vision algorithms for a simulated robot in CoppeliaSim 835
Yakunin R.S. Optimization of neural network architecture and the low-bit weight representation for an indicator in peripheral computations 841
Yaradaykin D.S., Vafin R.R. Comparative analysis of robot programming approaches in the V-REP environment: embedded scripts vs. Remote API 848

New age cybersecurity

Akhmedova Z.Kh., Zerbaliiev A.T. Development of a multi-level intelligent ecosystem «Cyber-x-guard» for proactive monitoring and neutralization of cyber threats based on explainable AI (XAI) 854
Ahmetgaliev A.R., Anikin I.V. Neural network model for detecting audio steganographic transformations 857
Belkin E.N. A contract-synthesized control plane for regional video monitoring under AI-agent-enabled attacks 864
Bobro M.D., Egorenkov V.V. OSINT in modern cybersecurity: methodology, sources, and practical applications for protecting information infrastructure 871

Gavrilov M.A. Some issues of information security and investigative confidentiality in the context of digitalization of criminal procedure 877
Gainov I.D. Cybersecurity in the system of preventing juvenile crime: constitutional and criminal law aspects 882
Gainullin I.I., Talipov N.G., Khusainov R.M. Centralized enterprise information security management based on based Kaspersky Security Center software suite system 887
Garaev I.R., Sharipov R.R. Research and development of methods for protection against false data injection in narrowband NB-PLC networks for lighting control and energy distribution 897
Garaev I.R., Sharipov R.R. Ensuring data confidentiality and integrity in smart electricity metering systems based on PLC technologies 903
Gareeva G.I. Cyber risks in industrial cooperation logistics: identification methods and management methods 908
Goncharenko V.O., Anisimova E.S. Development of a software package for biometric authentication of humans by gait based on neural network technologies 916
Goncharov V.V., Khusainov R.M., Talipov N.G. Development of an interactive training simulator for countering phishing attacks in Telegram 924
Davydova O.D., Anikin I.V. Methodology and functional analysis of the malicious software 932
Zakharova A.V. Investigation of unintentional electromagnetic emissions of a two-transistor radio microphone as a source of acoustic information leakage 939
Zakharova A.V. Investigation of the parameters of a single-transistor radio microphone as a source of a technical channel of acoustic information leakage 944
Igonin I.L., Khusainov R.M., Yusupov B.Z. Comparative analysis of methods of protection against network attacks in small information systems 951
Isakov T.R., Nadezhdina M.E. Facial recognition algorithms under partial occlusion: a review of modern approaches 956
Kazakhmedov S.N. Methods for searching hidden radio embedded devices 960
Kazakhmedov S.N. Methods for detecting wired embedded devices 964
Kazakhmedov S.N. Methods of countering visual surveillance in a secure room 969
Karpikov A.S. From identity to digital action accountability 974
Katasev A.S., Alekseev A.A. Classification of active windows of user applications for monitoring employee actions in a corporate it environment 980
Katasev A.S., Ashanin B.D. Detection of attacks on web applications based on machine learning 987
Kataseva D.V., Cherkasov E.O. Development of a web application for information security audit 994
Kafarova R.D. Differentiation of liability for theft using electronic means of payment: problems of law enforcement and ways of reform 999
Kosinov Yu.A. Firewall performance testing methods 1005
Kosinov Yu.A., Sharova A.Yu. Information protection in new architectures 1011
Kurilova E.I., Lifanov A.D. Analysis of approaches and tools for building intelligent software security systems for residential complexes 1018
Mironova V.O. The digital identity of children as a critical vulnerability in the AI era: reputational harm, identity theft, and the limits of erasure 1027
Mironova V.O. Digital shadow upbringing of minors as an institutional cybersecurity problem 1034
Ovsyannikov V.I., Kotilevets I.D. The methods of the generation prompt injection and security testing tools for large language models 1041

Petrov V.V. Constructing and comparing static models of android applications to detect clones and malicious code injections 1047
Plotnikov N.L., Yasonov I.A., Safiullina L.Kh. Design of multimedia steganography systems based on domestic «Red Soft» products 1056
Sabirov N.A., Yusupov B.Z. Parasitic capacity analysis as a tool for physical perimeter control 1059
Sabirov N.A., Yusupov B.Z. Signal contention in a JK flip-flop as a Fault Injection attack model 1064
Sabirov N.A., Yusupov B.Z. Post-synthesis analysis of signal path delays in an Artix-7 FPGA JK trigger to evaluate the performance of hardware-based information security measures 1070
Sabirova D.I., Nesterenko S.V., Grishin E.I. Siem system integration as a tool for enhancing enterprise it infrastructure security 1075
Safiullina L.Kh., Akhmadiev B.T. Use of anonymous internet platforms as a factor in the emergence of information security threats 1081
Safiullina L. Kh., Krasnova K.A., Fatkhetdinov K.N. Security testing methodology for LoRaWAN-based IoT devices 1086
Tereshin A.A., Sheyafetdinova N.A. The role of Russia in combating global cybercrime 1095
Fatkullina L.F. Formation of fuzzy rules of the second type for detecting network attacks 1099
Filyak P.Yu., Sheverdak A.A., Belyakov D.V., Smirnova A.M. Artificial intelligence technologies in providing information security 1106
Khasanov M.Sh., Sharipov R.R Study of methods for influencing a subscriber telephone network segment for the purpose of covert acquisition of acoustic information 1116
Khasanov M.Sh. Laboratory stand for the protection of a telephone network subscriber section 1120
Cherkasov P.A., Khusainov R.M., Talipov N.G. A neural network model for deepfake detection 1125
Chirka N.S., Kotilevets I.D. Development of a prompt injection classifier with prediction interpretation using explainable AI methods 1134
Shibanova Z.O., Kotilevets I.D. Data leakage prevention system using computer vision methods 1141
Shimareva M.A., Anisimova E.S. Application of the siamese neural network for biometric user authentication using handwritten signature 1147
Yarullin K.R. Comparative analysis of the security and performance of classic DNS, DNS-over-TLS AND DNS-over-HTTPS 1152
Yarullin K.R., Talipov N.G. Comparative analysis of traditional and post-quantum key exchange in TLS 1.3 1161

Fintech ecosystem

Abdulguzhin I.D. Application of artificial intelligence in personal finance: developing financial awareness and risk management through the Monetrix platform 1169
Bulatova E.I. Platformization of financial services and the transformation of provider-consumer interaction models 1177
Bulatova E.I., Rafikova L.V. Digital zakat architecture in the russian fintech ecosystem 1183
Mukhametshina D.R., Smirnova G.S. Application of smart contracts on the digital ruble platform to improve the efficiency of budget financing of state institutions 1190
Sagitova Ju.R., Egorov A.S., Ishmuradova I.I. Reengineering of financial processes of small business entities in the conditions of the development of open banking ecosystems (Open API) 1196
Salimov L.N. Factors influencing the development of the utility digital rights market in the context of strategizing the bioeconomy in Russia 1200

Sakhbieva A.I. Digital factors shaping consumer demand for islamic banking financial products in Russia 1205
Sakhbieva A.I. Digitalization of the economy and structural shifts in aggregate demand: macroeconomic consequences 1216
Khabibulina L.F. Digital sukuk for financing infrastructure projects: a pilot issuance model in Russia 1224
Tsvetkov A.I., Kokh I.A. Ompliance of digital hedging instruments for foreign-trade settlements with islamic finance norms 1230
Shaidullina A.R. Application of artificial intelligence technologies in audit and internal control of nonprofit organizations 1236

Business-integrated innovations

Ammar Naji, Grigoryan K.A., Mukhamedzhanov A.I. Comparison of classical machine learning and large language models for customer churn prediction 1241
Bagmanov I.D. Multi-agent reinforcement learning for dynamic pricing in e-commerce 1250
Bakston V.V. Semantic-topological model of an architecture repository: synthesis of meta-ontologies and meta-graphs for corporate and industry ecosystem management 1257
Bobok A.S. Review of the AI-powered business analytics solutions in the Russia, 2026 1265
Vaniushev A.A., Zarayskiy S.A. Methodology for developing websites for industrial enterprises and B2B companies based on progressive web APPS (PWA) 1271
Galyautdinova K.R., Ziganshina Z.R. Business impact: how corporations drive change in their regions of operation 1277
Golyakov A.A. Process and methodological model for implementing a voice ai assistant and speech analytics in low-rise housing sales 1285
Grigoryan K.A., Ivanov T.P. Development of a multi-agent travel planning system architecture based on large language models 1292
Egorov A.S., Sagitova J.R., Ishmuradova I.I. Improvement of the customer interaction information system in a car service based on «1C:Enterprise» platform 1298
Eremeev M.S. Reengineering business process in the context of digital transformation: as an approach to assess the information interaction 1302
Eremeev M.S. The approach to assess the effectiveness of enterprise business process digitalization based on the integral indicators 1310
Zagidullin Z.M. Methods of semantic analysis of candidate responses in automated technical interviews 1317
Zaripova A.R., Ignatieva O.A., Sokolov A.Y. Reengineering business process as a tool for sustainable development under macroeconomic environment conditions 1324
Ziganshin K.N. Key trends and challenges in the digitalization of the construction industry 1329
Ignatyeva O.A., Usanova D.Sh., Shakirov R.N. Declarations and reality: barriers and failures of synergy between digital transformation and the ESG agenda in managing a company's sustainable development (Russian and foreign experience) 1334
Kankina O.A. Development of an information system for the dispatch service of the information technology department 1341
Kononov E.V. Automated requirements for the extraction from meeting audio recordings: cascaded multilabel classification and speech recognition 1349
Kononov E.V. Building a balanced russian-language software requirements corpus for multilabel classification 1355
Korosteleva D.M., Kalimullina A.E., Abramskiy M.M. Principles and best practices for designing the architecture of large language model based agent systems 1362

Li Zhuhe, Kisyakova E.M., Fasakhov T.R., Ignatjeva O.A. Integration of the Russian and Chinese economies as a factor of successful foreign economic activities 1366
Mubarakov K.L. Analysis of the methods to forecast the demands for automating delivery of supplies to marketplace warehouses 1372
Murtazina G.R. Formation of ecosystems of Russian IT-giants (Yandex, VK, Sber): from specialized services to superapplications (2020-2025) 1378
Nizamutdinova Z.F., Fakhrislamova K.A. The analysis of the impact of the advertisiments created by generative neural networks on the formation of the consumer trust and purchase intention 1383
Nurgaliev M.A., Bayrasheva V.R. Development of an automated ML Pipeline for interpretable customer churn prediction in telecommunications using SHAP/LIME and continuous integration and delivery system 1389
Savelchev I.A. Special economic zones as an instrument of Russia's territorial development and investment policy: theoretical and legal foundations and experience of the Alabuga SEZ 1399
Sagitova Ju.R., Egorov A.S., Ishmuradova I.I. The automation process of the "Quality control" business process and accounting of non-conforming products based on the "1C:enterprise 8.3" platform 1409
Sadriev A.R., Shpagina A. Requirement trajectories of stakeholders through the lens of it startup development 1414
Salieva D.D., Fedorova O.V. Risks of implementing Big Data and machine learning technologies in marketplace management 1421
Safiullin M.R., Gurianov A.I. Captive and intermediary B2B electronic trade platforms in Russian and global markets 1428
Sakhbieva A.I. Improving consumer engagement through digital enterprise marketing tools 1434
Sovetov I.N. Digitalization of business processes in small businesses 1443
Timofeev D.Yu. Digitalization and industry 4.0: tools for the technological autonomy of the Russian automotive industry 1448
Titova S.V. The digital culture of the organizational prpcess : characteristics, elements, and tools for the development 1455
Fedorova A.Yu. A methodology for forming a training dataset for intelligent task assignment to software developers based on historical data 1460

Digital technologies in education

Abakumova N.N., Tsiguleva O.V., Chervonnyy M.A. The evolution of educational paradigms in the artificial intelligence age: from a conflict of agency to a trust ecosystem 1468
Alekseev E.N., Prokopyev N.A. Ontology-guided knowledge graph construction from educational texts using LLM 1474
Akhmadieva R.Sh., Gilmeeva R.Kh., Sakhibullin M.M. Use of metric spaces for the analysis and personalization of educational trajectories 1480
Akhmetov A. Digital technologies and artificial intelligence as factors of film production transformation: from auteur to industrial dimension 1487
Akhtarieva R.F., Shapirova R.R. The digital divide: why children know more about calories than about hunger 1495
Bautista Barajas Dixon Alejandro, Karkina S.V. Developing digital competence for future PR specialists using neural network tools 1499
Burganova N.R. Patriotic education of schoolchildren through digital design based on folk arts and crafts 1503

Vakhitova I.R. Digital transformation of teaching methods of tatar folk singing: from authenticity to intellectual environments 1507
Vlasova-Galaseeva N.M., Smirnov E.I. Mastering the RGB color model in robotics: a way to integrating mathematical knowledge and digital skills 1511
Galiakhmetov A.A., Krylova A.S. Integrating artificial intelligence into professionally oriented teaching of English mathematical terminology in technical higher 1515
Galiullin A.R. Digital technologies in sports training of middle school-aged children: methodological approaches to developing coordination 1520
Gevorgyan G.L., Kotilevets I.D. Modeling the mutual influence of learning behavior factors and student knowledge levels using fuzzy cognitive maps 1526
Gilmullin R.A., Yakubova D.Dz., Selimov T.S., Gilyazova R.R., Yakubova D.D. Generative AI in native-language lesson preparation: a functional model of automation boundaries for the «Na rodnom» platform 1536
Golitsyna I.N. Transformation of the digital educational environment for IT students under the influence of AI 1543
Gostev V.M. Intelligent information systems architects education: a model and experience in developing a digital educational environment 1550
Elendeev A.G., Bikmullina I.I. Building a multidimensional analytical system based on MOLAP technology in microsoft SQL Server Analysis Services 1557
Ershova Yu.N. Opportunities for using digital tools in Russian language classes to foster family values 1562
Zhoomartov N.R., Sharipov I.I. Modern technologies in engineering graphics and their role in the training of technical specialists 1566
Zotina E.V. Social engineering and artificial intelligence: points of intersection 1570
Zyabbarova A.A. Technology for conducting a reputation audit of a scientific and educational institution in the digital environment 1573
Kankina O.A. Application of mathematical statistics methods to labor productivity: hypothesis testing s and regression modeling 1582
Karkina S.V., Bolshakova M.A. Development of initial music skills in primary schoolchildren in the process of working with the Duolingo mobile application 1588
Karkina S.V., Ermoshkina S.V. Formation of learning motivation in primary school students by means of interactive art technologies 1594
Kirillov E.I., Prokopyev N.A. Semantic-constraint method for matching educational requirements and learning materials to form a lesson structure 1598
Kozhevnikov N.A., Khramchenkova E.S., Bilous S.I., Iskhakov A.N. Identification of students within the educational process using distance learning technologies and e-learning in universities of the Republic of Tatarstan 1603
Kozlov V.P. Artificial intelligence and the ethnocultural context in education 1610
Konstantinova I.S., Nizamova G.M., Panina E.N., Ovsyannikov A.P., Bozova G.B. Innovative approach to teaching morphological disciplines in the context of digitalisation of veterinary education 1616
Kotilevets I.D., Akhushkov A.Z. Multi-source automated publication retrieval for a systematic review: architecture, performance and limits of applicability 1621
Kotilevets I.D., Nagornykh N.A. The use of information systems in the organization of prevention of deviant behavior of students in general educational institutions 1629
Kotomanova S.S. Lawyer-analyst and generative artificial intelligence: transformation of professional identity and methodology for forming competencies 1636
Latifullina A.M., Vafin R.R. Application of LLM for assessing open-ended answers in object-oriented programming (OOP) testing 1642

Lyubyagina O.A., Razyapov I.G. Digital technologies in education: transformation of the pedagogical paradigm in the context of the challenges of technological sovereignty.....1649
Mavrin O.V., Pavlova V.A., Popov V.N. Satisfaction with the accessibility and quality of public services provided by the units of the state traffic inspectorate of the ministry of internal affairs for the Republic of Tatarstan.....1655
Malkov M.B. The pedagogical dilemma of artificial intelligence: balancing educational benefits and risks for students cognitive development.....1661
Mingazov A.A. AI platform as a tool for the digitalization of educational services export in the Republic of Tatarstan (the case of ApplyRussia).....1668
Mineev A.E. Portability of learning content for modular unmanned aircraft systems.....1674
Mikhailova O.V., Ibragimov I.F. Digital transformation challenges and implementation prospects.....1679
Moreva A.A. Application of adaptive systems based on artificial intelligence in modern education.....1683
Mukhutdinov R.F. Historical memory as a media resource for shaping public self-consciousness: the educational aspect.....1688
Nizamutdinova Z.F., Moreva D.V. Developing the foundations of professional self-determination in 6th–7th grade students through digital design modeling.....1694
Nizamutdinova Z.F., Panfilovich K.V. Transforming the learning task in the age of generative ai: prompt as a design modeling tool.....1700
Nikitenko P.A., Krestyaninova T.Yu. The impact of the «digital escape» phenomenon on the social development of a child in conditions of family dysfunction.....1707
Nuriakhmetova F.M., Kholodnov V.G. General and specific features in the legal regulation of artificial intelligence in the educational space of the European Union and the Russian Federation.....1712
Nurmukhametova V.V., Khairutdinova E.M. Some aspects of the development of the russian philosophy of artificial intelligence.....1718
Panasova A.A. Artificial intelligence in higher education: an analysis of foreign research and Russian practices.....1722
Ponkratova S.A., Ponkratov A.S. Skills of the 21st century: working with scientific text and artificial intelligence.....1729
Puryaev A.S. Education in the age of artificial intelligence.....1733
Rzhevskaya Yu.E. Socio-psychological factors of youth reference in the digital space.....1739
Savina D.V., Khafizov I.I. Application of artificial intelligence technologies in management of university youth policy.....1744
Sayfullin R.A., Mullagaliev D.R., Shindor O.V. A multi-agent system for automated assessment of constructed-response mathematics exam tasks and personalized learning path generation.....1751
Salakhov M.N., Salakhov I.M. Development of a mobile application for students' point rating.....1759
Salieva R.N., Tarasova F.Kh. A new concept for creating an electronic russian-english dictionary of phraseological units with a transparent inner form.....1764
Sakharov R.I., Krylova A.S. Advantages and risks of using artificial intelligence in english language learning at a non-linguistic university.....1770
Smirnova I.V., Martynenko O.V., Pechenevskaja M.A. A specialized digital platform for training specialists in economic security.....1776
Soldatova A.V., Soldatov Ya.V. The artificial intelligence technologies in solving the problems of modern higher education.....1782
Stepanova Z.R., Valeeva R.Z. Use of digital technologies to develop communicative competence in the initial phase of learning the Chinese language.....1788

Strekalova G.R., Mochalova N.V. Artificial intelligence in the educational process: the limits of the possible 1793
Tashbaev I.O. A digital ecosystem of entrepreneurship education for vertically integrated agro-industrial value chains: value-added management competencies 1801
Tikhonova V.V., Lipachev E.K. System for automatic verification of bibliographical sources in scientific documents 1804
Khabibrakhmanov R.R., Fedorova O.V. Development of a system for assessing research topics against strategic priorities using natural language processing and semantic analysis 1810
Khamitova L.M., Khamitova A.R. An intelligent platform for learning professional english based on artificial intelligence and project cases 1815
Khamitova L.M., Khairutdinova E.M. Technical literacy of the new generation: digital tools supporting the reading of english-language scientific texts 1822
Khasnutdinova S.V., Ziganshina N.L. Using artificial intelligence technologies to develop educational and methodological materials in the process of teaching a professional foreign language in a non-linguistic university 1828
Chelnokova T.A., Smirnov V.S. Viral digital educational content in the training of engineering and technical personnel 1834
Chervonnyy M.A., Abakumova N.N., Glukhov A.P. Integration of artificial intelligence into pedagogical mentoring: analysis of implementation models and development prospects 1839
Shigapova L.R. Application of interactive teaching methods in teaching technical disciplines in the specialty of «Mechanical engineering technology» in secondary vocational education 1844
Iarkhamova A.A., Islamova L.R. Features of teaching English as a foreign language to bilingual students and multicultural groups at a Russian university 1851

Digital technologies in healthcare and medicine

Bashirov R.A., Ryzhkin S.A., Burkov V.O. Algorithmization and automation of processing results of dynamic esophageal scintigraphy: experience of developing a software module 1856
Valiyev N.A., Vassaev E.V., Gimadeyev Sh.M., Radchenko S.V. Virtual oncological patient and software simulation within a sixth-generation EHR system: from concept to reality 1864
Galimzyanov A.F., Khairullin R.N., Galiullin A.N., Karimov I.F., Gaifullina R.F., Valeeva Yu.V. Modeling the management of medical-social risk factors for circulatory system diseases through the development of the "Artificial intelligence-based management of medical-social risk factors for cardiovascular diseases" program 1871
Galiullin A.N., Yusupov A.R., Galiullin D.A., Yusupova L.A., Gaifullina R.F. Mathematical modeling and prediction of acute cerebrovascular accidents in elderly and senile patients using artificial intelligence 1879
Garipova A.I. The impact of digital multimodal simulation-based training on the development of clinical reasoning in secondary vocational medical education students 1889
Gafiyatullin B.R., Subaeva A.K. Digital transformation of the healthcare system: regional aspects and development prospects 1895
Dubianskii V.M. Application of the specialized artificial intelligence «Piastres» for spatial and temporal prediction of epizootic activity in natural foci of highly dangerous infections 1898
Elina V.V. Quantitative assessment of machine learning model robustness to structured clinical data quality degradation 1905
Latypova F.I. A model for forecasting the daily patient load of a medical organization as a component of an intelligent management system for the digital ecosystem of a dental clinic 1912

Latypova F.I. A decision-support model for appointment scheduling in a dental clinic accounting for patient no-show probability 1917
Latypova F.I. Conceptual approaches to the architecture of intelligent management systems for the digital ecosystem of a multi-profile enterprise 1921
Mironova D.S., Dudalova E.A. assessment of energy expenditure during resistance training: a comparison of calculation formulas and machine learning models using open data 1926
Nesterenko M.A. Digital transformation as a tool for implementing regional strategies for pharmaceutical industry development amidst external economic restrictions 1933
Pantyukhin D.V., Ryzhkin S.A., Shibaeva N.A., Firsova O.A. Digital transformation of regional healthcare management: experience and prospects of the Oryol region 1937
Podsvirov D.V. Digital technologies in setting labor standards for veterinary surgeons 1943
Pyrnova O.A. Reduced neuro-fuzzy model for knowledge base formation in vertebral pathology diagnosis 1951
Sedykh V.V., Burnashev R.A. Hybrid approach to resource management in a healthcare organization: integration of machine learning and multi-criteria optimization 1958
Sultanov M.I., Khamidullin B.R., Prokofyeva S.N., Shangareeva Z.A., Vakhitova G.A., Glebov S.G. «Digital pediatrician's assistant: nutrition calculator for infants» program – optimizing pediatric outpatient practice through personalized nutrition calculations for infants 1966
Khisamutdinov A.N., Almukhametov A.A., Galiakhmetov A.I., Abashev A.R., Gilmanov A.A., Yusupova N.Z. Factors influencing digital competencies of healthcare professionals in the use of state medical information systems: results of a sociological study 1975
Shaidullina A.R. Electronic vaccination certificate on the public services portal of the Republic of Tatarstan as a tool for enhancing the effectiveness of immunoprophylaxis 1980
Shakirova A.F. Digital self-preservation practices of the population amid the proliferation of artificial intelligence technologies: an analysis of mobile health applications 1987
Shlyamin D.A., Mokshin V.V. Development of a system for recognizing gait pathologies from video data using skeleton models and accounting for viewpoint variations 1996
Jalilov I.I., Smirnova V.V., Sachenkov O.A. Comparative analysis of U-Net, U-Net++, DeepLabV3+, AND YOLO11N-seg architectures for human segmentation in images 2002

Digital technologies in culture

Alvasete E.E. Hallucination of neural network models in translation of poetic phraseology 2011
Akhmedova A.M., Zazhneva I.V. Zhuliy A.D. Neural network algorithm for transcribing audio recordings into musical notation 2017
Baryshev S.A. Specific features of determining the legal regime of digital images created using artificial intelligence technologies 2025
Byashimov M.D., Sadykova L.A. On the use of information technologies in composition 2031
Galiullina A.G., Galiullin A.R. Creative activity in the context of human interaction with artificial intelligence systems 2035
Garifullina R.S., Safin F.M. Digital memory of generations: digitization and accessibility of cultural heritage (based on the materials of the Republic of Tatarstan) 2038
Gimazov A.R., Gilmullin R.A. Comparative analysis of factual accuracy in tatar language text generation using search and reasoning modes in large language models 2044
Ivanova I.A., Pegov E.V. Research into methods for automatic recognition and processing of old church slavonic texts 2051

Karina Ya.V., Soldatova N.O. Artificial narrative: digital transformation of language....2058
Kataseva D.V., Vagapov A.A. A mobile application for creating a user's digital wardrobe based on photo analysis....2065
Kashinsky E.I., Matveyev G.K. Artificial intelligence in the cultural space: from artistic representation to film production practice....2071
Kashinsky E.I. Comprehensive professional training for future cinematographers: integration of technological, creative, and physical components....2078
Kozyrev M.A., Shangareeva Z.S. Philosophical and sociological analysis of the impact of digital technologies on family development....2083
Loginova O.A. Transformation of library and information activities in the context of artificial intelligence technology implementation: strategic perspectives and ethical regulation mechanisms....2089
Malkov M.B. Transformation of cultural heritage in the era of artificial intelligence: a technological model based on the projects of Kazan....2095
Malkova A.N. Competency profile of specialists in creative professions in the context of creative industries development: a systematic approach to the interaction of education, business and the state....2100
Malkova A.N. Creative incubators based on federal educational organizations in the cultural sphere: institutionalization, organizational models and development prospects....2106
Maltseva E.A., Perelygin D.A., Malkova A.N. Artificial intelligence as a factor of transformation of modern cinema: technological, artistic and legal dimensions....2114
Nizamutdinova Z.F., Kozyreva D.I. Humans and AI as co-authors: redefining the boundaries of artistic creativity in digital culture....2119
Potapov A.S., Kirillova A.A. Creative activities in the context of human interaction and artificial intelligence systems....2124
Rybasova Yu.Yu., Salakhov R.F., Salakhova R.I. Ethnocultural code in modern costume: from traditional forms to innovative design solutions....2131
Savich L.E., Safin T.Yu. Interactive digital technologies in library and information services for children: theoretical aspects and practical realities....2135
Sayfutdinova G.M., Vorobeva E.E., Sitdikov A.G., Abdulloev Sh.B. Digital reconstruction of the great silk road: integration of global and local research (based on archaeological monuments in the Volga region and Surkhandarya)....2143
Salakhov R.F., Salakhova R.I., Rybasova Yu.Yu., Khanipova D.R. From global to local: strategies for updating the cultural code in KazGIK design....2153
Sirotkin Yu.L. Perception of the digital space by an individual as an element of digitalization of modern Russian society....2156
Smolin D.V. Automated recognition of musical content as an extrajudicial mechanism for the protection of copyright and related rights....2163
Suminova T.N. Digital transformation of arts management: philosophy of change, challenges and strategies....2168
Tereshchenko A.R. Transformation of the professional competencies of a sound engineer in the context of artificial intelligence integration into audio production....2174
Khamidullin M.R., Gatiatullin A.R. Modeling valid time in the knowledge graph of a dialectological platform for representing language change....2181
Khamidullin M.R. A platform-based approach to building domain geographic information systems for cultural heritage on a unified software core....2187
Shcheglova M.I., Parfenov D.I. The reduction of human-generated content As a technological and philosophical problem....2195

Yanush O.B., Mukharyamov N.M. Web space as an arena of language policy 2200
Yakhina D.I., Shakirzianova D.R. Methodology for integrating the cultural code into digital project activities of foreign students at the pre-university stage of education 2206

Digital technologies in agriculture

Barysheva O.B., Ziganshin A.M. Digital technology integration in thermochemical processing of poultry manure 2210
Valitov G.Sh. Empirical analysis of the effects of digitalization in Russia's agricultural regions 2219
Volkov R.A., Galiullin A.K., Magdeeva E.A., Shaeva A.Y., Semenova S.A., Krasovskaya Y.V., Evstifeev V.V. Propolis in the digital agriculture era: mechanisms of antimicrobial action against zoonotic pathogens and the role of predictive analytics in curbing antibiotic resistance 2225
Gainutdinov I.G., Aleksandrova N.R. Priority directions for improving the efficiency of dairy cattle farming in the region in the context of economic digitalization 2233
Gayfullin I.Kh., Ziganshin B.G., Shogenov Yu.Kh. Improving the energy efficiency of a biogas plant through the implementation of a remote control and visualization system for technological processes 2237
Gimaltdinov I.Kh., Adigamov N.R., Sadykov M.R., Aindinov R.R. Digital monitoring and control system for brush electroplating in the restoration of agricultural machinery parts 2245
Gorbunov R.P., Berdnik S.V. Dentification of key morphometric traits distinguishing *Einfeldia pagana* (diptera: chironomidae) groups, accounting for allometry in the absence of a reference trait 2253
Gorshkova A.T., Gorbunova V.P., Semanov D.A., Bortnikova N.V., Davydov D.S. Trends of change in the intra-annual regime of river flow formation in the Republic of Tatarstan 2259
Gorshkova A.T., Gorbunova V.P., Semanov D.A., Bortnikova N.V., Davydov D.S. Innovative digital developments in the field of hydrological research, created for the purposes of environmental protection and reproduction of water resources of the Republic of Tatarstan 2266
Evgrafov D.A., Kataseva D.V. Neural network model for predicting crops yield 2272
Yeldashev A.O., Papaev R.M., Ezhkov V.O., Ezhkova A.M. Digital livestock farming: a bolus for monitoring the clinical and physiological condition and productivity of cattle 2278
Zaynulgabidinov E.R., Utombaeva A.A., Petrov A.M. Comparative assessment of remediation efficiency of petroleum-contaminated soil using thermomechanically modified sewage sludge: a kinetic approach 2286
Zakharova D.A., Kuznetsova E.M., Ishmuradova I.I. Digital twins of cattle farms: from 3D barn models to milk yield forecasts 2291
Klychova G.S., Nizamutdinov M.M., Fakhretdinova E.N., Poverenniy D.V. Creating a website for selling farm products: stages and accounting features 2297
Kornyukhov D.S. Hyperspectral crop diagnostics in a multisensor workflow: methods, limitations, and application to russian fields 2305
Makarov D.A., Makarov A.S. Two-stage system for automated diagnosis of bovine leukemia using classical machine learning and computer vision solutions 2313
Minikaev D.T., Fayzrakhmanov R.N., Akhmetzyanova F.K. Application of eco-friendly materials and 3d prototypes in animal husbandry 2319
Mirzagitov R.R., Abdullin A.I. Autonomous visual navigation of a UAV for aerial mapping and monitoring agricultural land 2324
Mirzagitov R.R., Abdullin A.I. Development of an onboard UAV livestock monitoring system based on an affordable Rockchip RK3588 computing platform 2332

Mustafin I.A., Trofimov N.V. Monitoring the condition of perennial grass agrocenoses using satellite imagery data (on the example of the Laishevsky municipal district of the Republic of Tatarstan) 2339
Nezhmetdinova F.T., Yazid Yaakob, Nuriev I.G., Syariena Arshad Digital footprint of halal and organic products: is transparency ethical? 2345
Ryazanov S.S., Kulagina V.I. Factor analysis as a tool for assessing the state of soil cover 2353
Sadykov B.F., Shleymovich M.P. Development of an information system for fruit detection and sorting based on convolutional neural networks 2361
Saubanov K.R. The position of the Republic of Tatarstan in the rankings of digital transformation of the agro-industrial complex among Russian regions 2369
Safin R.I., Kolesar V.A., Safina D.R. Application of digital methods in assessing the adaptability of soybean varieties 2379
Semenov P.G., Fusuo Zhang Federated learning for distributed crop yield prediction on smart farms using heterogeneous sensor data 2385
Subaeva A.K., Alexandrova D.Z. Digital transformation of agribusiness in the Republic of Tatarstan 2393
Tashbaev I.O. Digital platforms and artificial intelligence in the mechanism of vertical integration and value distribution in the cotton-textile value chain of Uzbekistan 2400
Khisamov R.R., Faizullina T.A. Improving the efficiency of robotic milking through digital monitoring and data analysis 2404
Khusnutdinov I.I., Vagizov M.R., Mirsyapov N.I., Musin Kh.G. The «Green contour» platform as a tool for geospatial inventory and digital management of urban green spaces 2411
Elebiary Mohsen Abdelnasser, Tevyashov G.K., Zagidullin L.R., Papaev R.M. Ezhkov V.O., Ezhkova A.M. Machine vision and neural network technologies for studying the physiological activity, preservation, growth and development of aquaculture objects 2419
Yakhina L.T., Minnigaleeva V.Z. The management of the digital processes in agriculture of the Republic of Tatarstan 2424

Members of the organizing committee responsible for the preparation and holding the International Forum «Kazan Digital Week – 2026» 2432
Members of the working group responsible for the preparation and holding the International Forum «Kazan Digital Week – 2026» 2436
Reviewers 2441

Международный форум
KAZAN DIGITAL WEEK – 2026

Электронный сборник материалов

Составители:
Ахмадиева Роза Шайхайдаровна
Минниханов Рифкат Нургалиевич

Под общей ред. президента Академии наук Республики Татарстан,
д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова

Редактор: *С.Г. Галиева*

Статьи публикуются в авторской редакции

При использовании и заимствовании материалов
ссылка на издание обязательна

Адрес издателя: 420059, Республика Татарстан, г. Казань,
Ул. Оренбургский тракт, д. 5
Адрес редакции: 420059, Республика Татарстан, г. Казань,
Ул. Оренбургский тракт, д. 5
Подписано в печать 28.10.2026 г. Дата выхода в свет 29.10.2026

Дата размещения на сайте 29.10.2026 г.
Уч.-изд. л. 79,4. Объем 42,2 Mb.
Минимальные системные требования: Pentium 330 МГц,
ОС Windows98 и выше, ОЗУ 512 МБ, Internet Explorer, Adobe Reader 5.0 и выше
Распространение: бесплатно или свободная цена.
Размещение сборника на сайте: https://kazandigitalweek.com/ru/site
Размещение в НЭБ Elibrary.ru в соответствии
с договором №842-07/2019К от 11.07.2019 г.
E-mail: org@kazandigitalweek.ru



ISBN 978-5-6056947-6-2